www.ibtesama.com/vb

مهرجان القراءة للجميع
أمهات الكتب
مكتبة الأسرة ٢٠٠٢

ألف باء النسبية

تأليف: برتراند رسل
ترجمة: فؤاد كامل

الهيئة المصرية العامة للكتاب

FARES_MASRY
www.ibtesama.com/vb
منتديات مجلة الإبتسامة
www.ibtesama.com/vb

FARES_MASRY
www.ibtesama.com/vb
منتديات مجلة الإبتسامة

www.ibtesama.com/vb

مجلة الابتسامة

ألِف باء النسبية

www.ibtesama.com/vb

اسم العمل الفنى : تأثيرات

التقنية : ألوان زيتية على قماش

المقاس : ١٢٠ × ١٥٠ سم

للفنان النيجيرى

جيمو أكولو

من مجموعته الخاصة

www.ibtesama.com/vb

ألفِ باءِ النسبية

تأليف

برتراند رسل

ترجمة

فؤاد كامل

مراجعة

د. محمد مرسى أحمد

www.ibtesama.com/vb

مهرجان القراءة للجميع
للطفل ـ للشاب ـ للأسرة
جمعية الرعاية المتكاملة

مهرجان القراءة للجميع ٢٠٠٢

مكتبة الأسـرة

برعاية السيدة سوزان مبارك

(سلسلة أمهات الكتب)

ألف باء النسبية

تأليف: برتراند رسل

ترجمة: فؤاد كامل

مراجعة: د. محمد مرسى أحمد

الغلاف

والإشراف الفنى:

الفنان : محمود الهندى

الإخراج الفنى والتنفيذ:

صبرى عبدالواحد

المشرف العام :

د. سمير سرحـان

الجهات المشاركة :

جمعية الرعاية المتكاملة المركزية

وزارة الثقافة

وزارة الإعلام

وزارة التربية والتعليم

وزارة التنمية المحلية

وزارة الشباب

التنفيذ : هيئة الكتاب

www.ibtesama.com/vb

على سبيل التقديم :

نعم استطاعت مكتبة الأسرة بإصداراتها عبر الأعوام الماضية أن تسد فراغا كان رهيباً فى المكتبة العربية، وأن تزيد رقعة القراءة والقراء، بل حظيت بالتفاف وتلهف جماهيرى على إصداراتها غير مسبوق على مستوى النشر فى العالم العربى أجمع، بل أعادت إلى الشارع الثقافى أسماء رواد فى مجالات الإبداع والمعرفة كادت أن تنسى، وأطلعت شباب مصر على إبداعات عصر التنوير وما تلاه من روائع الإبداع والفكر والمعرفة الإنسانية المصرية والعربية على وجه الخصوص.. ها هى تواصل إصداراتها للعام التاسع على التوالى فى مختلف فروع المعرفة الإنسانية بالنشر الموسوعى بعد أن حققت فى العامين الماضيين إقبالاً جماهيرياً رائعاً على الموسوعات التى أصدرتها. وتواصل إصدارها هذا العام إلى جانب الإصدارات الإبداعية والفكرية والدينية وغيرها من السلاسل المعروفة وحتى إبداعات شباب الأقاليم وجدت لها مكاناً هذا العام فى **«مكتبة الأسرة»** .. سوف يذكر شباب هذا الجيل هذا الفضل لصاحبته وراعيته السيدة العظيمة/ **سوزان مبارك**..

د. سمير سرحان

www.ibtesama.com/vb

FARES_MASRY
www.ibtesama.com/vb
منتديات مجلة الإبتسامة

www.ibtesama.com/vb

تصدير

لا يضارع برتراند راسل كاتب آخر (فى الفلسفة) فى صفاء الفكر وسلامة الأسلوب ووضوحه ، وقد لا يعرف الكثيرون أنه أستاذ متخصص فى الرياضيات قبل أن يكون فيلسوفاً ، ولذلك فهو يكتب عن «النسبية» وهى نظرية رياضية من وجهة نظر المتخصص الفاهم ، وبأسلوب الأديب ذى الأسلوب السلس القادر على مخاطبة القارىء غير المتخصص .

ولقد كان النجاح الذى صادف الكتاب الذى نشرته **مكتبة الأسرة** فى العام الماضى عن النسبية دافعاً لنا على مواصلة تقريب العلوم البحتة إلى آذهان القراء العرب ، خصوصاً بعد ما لاحظه بعض القراء من أن كتاب النسبية الذى نشرناه كان متخصصاً وأنه فى حاجة إلى كتاب آخر يصاحبه فيبسطه ويشرحه ، ولم نجد خيراً من هذا الكتاب الذى ترجمه المترجم الضليع فؤاد كامل وراجعه أستاذ فى الرياضيات ، شهد له فيها بعلو الكعب بل وشغل يوماً منصب رئيس جامعة القاهرة .

إن إشاعة الثقافة العلمية ضرورة يقتضيها طابع العصر الذى نعيش فيه ، وخصوصاً بين الشباب وبين غير المتخصصين ، إذ لم يعد العلم قاصراً على من يعلمون به من باحثين ومعلّمين ، بل لقد أصبح للعلم

www.ibtesama.com/vb

نصيب بارز فيما تنشره الصحف الأجنبية ، وأصبح من المتوقع أن يلم القارئ غير المتخصص ولو بأفكار مبدئية عن شتى التخصصات العلمية ، فهى تتضافر لتصنع الثقافة الجديدة التى تبنى طريق المستقبل .

وما أحوجنا فى مصر إلى انتهاج هذا النهج ، ولهذا سارعت **مكتبة الأسرة ٢٠٠٢** إلى تلبية رغبات القراء الراغبين فى الاستزادة من مناهل العلم ، وهى تفخر بأن تقدم اليوم هذا الكتاب الذى أصبح من أمهات الكتب ، ليس فقط بسبب مادته الخصبة الثرية ، بل أيضا بسبب أسلوبه الجميل ، ويسعدنا به تكريم اسمى المترجم والمراجع ، فهما من الأعلام ، ولعل جيلنا أن يحفظ لهما الجميل فيما أضافاه للمكتبة العربية .

والله من وراء القصد ،

د. محمد عنانى

www.ibtesama.com/vb

الفصل الأول

اللمس والنظر : الأرض والسماء

يعرف الناس جميعاً أن «أينشتين» قد أتى عـملا مثيراً للدهشة ، غير أن عـدداً قليلاً جـداً من الناس هو الذى يعـرف على وجـه الدقة مـا أتاه «أينشتين» . من المـعروف عامـة أنه أحدث ثورة فى تصوراتنـا عن العالم الفيزيائى ، غير أن تلك التصورات الجـديدة معلقة بالمصطلحات الرياضية البحـتة . ومـن الحق أن هـناك تفسيـرات مبـسطة لا حصـر لهـا لنظرية النسبية، ولكنها تتأبى عامة على الوضوح حين تشرع فى قول شىء هام . ولا تثريب فى هذا على المؤلفين ، فإن كـثيراً من الأفكار الجديدة يمكن أن نعبر عنهـا فى لغة لا رياضية ، ومع ذلك ، فإن صعـوبتها تأتى من هذه الناحية . إن ما نحتاج إليه هو تغيـير فى الصورة التى نتخيلها للعالم . . تلك الصـورة التى انتـقلت إلـينا عن أسـلاف بعـداء ـ بل لعلهم كـانوا أسلافا عاشوا فى عصور سابقـة على الإنسانية – فتعلمها كل واحد منا فى طفولته المبكرة ، وتغيير خيالنا أمـر عسير دائماً ، ولا سيما بعد أن نشب عن الطوق . وهذا الضـرب عـينة من التـغـيـيـر هو الذى كـان ينشـده «كوبرنيكوس» حين نـادى بأن الأرض ليست ثابتة ، وأن السـماء لا تدور حولها مرة كل يوم . وهذه الفكرة لا تنطوى الآن – فى نظرنا – على أية مشقـة ، لأننا تعلمناها قبل أن تتجـمد عادتنا العقليـة . وبالمثل ، سوف

www.ibtesama.com/vb

تتبدى أفكار «أينشتين» أسهل بالنسبة للأجيال التى تنمو فى وقت واحد مع انتشار هذه الأفكار ، غير أنه لا مناص بالنسبة لنا من أن نبذل مجهوداً معيناً فى إعادة بناء خيالنا .

ونحن حين نستكشف سطح الأرض ، نستخدم حواسنا جميعاً ، وعلى الأخص حاستى اللمس والنظر . وقد كان الناس فى العصور السابقة على العلم يستخدمون أجزاء من الجسم فى قياس الأطوال ، وبهذه الطريقة أمكن تحديد «القدم» و«الذراع» و«الشبر» . وفى المسافات الطويلة ، نفكر فى الزمن الذى يستغرقه السير من مكان إلى آخر . كما تعلمنا تدريجياً أن نحكم على المسافة حكما تقريبيا بمجرد النظر ، ولكننا نعتمد على اللمس إذا تحرينا الدقة . وفضلا عن ذلك ، فإن اللمس هو الذى يمنحنا الإحساس «بالواقع» . وثمة أشياء لا نستطيع لمسها مثل أقواس قزح ، والانعكاسات التى تظهر فى المرايا . . وهلم جرا . وهذه الأشياء تبعث بالحيرة فى نفوس الأطفال الذين تعطل تأملاتهم الميتافيزيقية معرفتهم بأن ما يوجد فى المرآة ليس «حقيقيا» . وقد كان خنجر مكبث غير حقيقى ، لأنه لم يكن «محسوساً بالنسبة للمس كما هو محسوس بالنسبة للنظر». ولا تقوم الهندسة والفيزياء وحدهما على حاسة اللمس ، بل إن تصورنا كله لما يوجد خارجنا يقوم على هذه الحاسة ، وإننا لنضع ذلك فى استعارتنا فنقول عن خطبة جيدة إنها متماسكة ، ونقول عن خطبة رديئة إنها «هواء» لأننا نشعر أن «الهواء» ليس «واقعيا» تماماً .

www.ibtesama.com/vb

وحين ندرس السماء ، نحرم من حواسنا جميعاً ، فلا تتبقى لنا سوى حاسة النظر فنحن لا نستطيع أن نلمس الشمس ، أو أن نسافر إليها ، كما لا نستطيع أن نطوف بالقمر ، أو أن نقيس «الثريا» بمسطرة . ومع ذلك فإن الفلكيين قد استخدموا - بلا تردد - الهندسة والفيزياء اللذين انتفعا بهما على سطح الأرض واللذين أقاموهما على اللمس والسفر . وبهذه الفعلة جلبوا على رءوسهم المتاعب التى تركوها لأينشتين كى يقوم بالتخلص منها ، واتضح أن كثيراً مما تعلمناه عن طريق حاسة اللمس ما هو إلا تحيزات لا علمية ، ينبغى أن ننبذها إذا أردنا أن تكون لدينا صورة حقيقية عن العالم .

وهذا مثل قد يساعدنا على أن نفهم مدى الاستحالة التى يلاقيها الفلكى إذا قيس بالرجل الذى يقتصر اهتمامه على الأشياء الموجودة فوق سطح الأرض . فلنفترض أن جرعة ما قد أعطيت لك لكى تغيب مؤقتا عن وعيك ، فإذا استيقظت وجدت نفسك فاقداً لذاكرتك دون أن تفقد قواك المفكرة . ولنمعن أكثر من ذلك فى الافتراض ، فنفترض أنك قد حملت أثناء غيوبتك فى بالون ، وهذا البالون بعد أن عدت إلى وعيك - ينساب مع الريح فى ليلة ظلماء هى ليلة اليوم الخامس من نوفمبر إذا كنت فى إنجلترا ، أو الرابع من يوليو إذا كنت فى أمريكا ، وإنك تستطيع أن تشاهد الصواريخ التى تطلق من الأرض : من القطارات ، ومن الطائرات التى تسافر فى كافة الإتجاهات . ولكنك لا تستطيع أن ترى الأرض أو

www.ibtesama.com/vb

القطارات أو الطائرات بسبب الظلمة . فما نوع الصورة التى ستكونها عن العالم ؟ سوف تعتقد أن لا شىء دائم : فليست هناك سوى ومضات قصار من الضوء ، تنتقل أثناء وجودها القصير - خلال الفراغ فى منحنيات شديدة التباين والغرابة . وأنت لا تستطيع أن تلمس تلك الومضات من الضوء ، كل ما تستطيعه هو أن تراها . ومن الواضح أن هندستك وفيزياء وميتافيزيقاك ستكون مختلفة تمام الاختلاف عن البشر العاديين . وإذا كان معك فى البالون إنسان عادى ، فسوف نجد أنه يجمجم بكلام غير مفهوم . أما إذا كان معك أينشتين فسوف تفهمه على نحو أسهل كثيراً مما يفهمه الإنسان العادى ، لأنك ستكون حينذاك متحرراً من طائفة من التصورات المسبقة التى تمنع معظم الناس عن فهم ما يقول .

وتعتمد نظرية النسبية إلى حد كبير على التخلص من المفاهيم التى تعد نافعة فى الحياة العادية ، ولكنها ليست كذلك بالنسبة لمسافر البالون الواقع تحت تأثير المخدر . ذلك أن الظروف التى تنشأ على سطح الأرض توحى ، لأسباب عرضية متعددة - بتصورات نتبين فيما بعد أنها غير دقيقة ، وإن أصبحت تبدو كأنها ضرورات للفكر . وأهم تلك الظروف أن معظم الأشياء على سطح الأرض دائمة دواماً معقولا ، وتكاد تكون ثابتة من وجهة نظر أرضية ، ولو لم يكن هذا هو حالها ، لما بدت فكرة القيام برحلة محددة على النحو الذى تبدو عليه فعلا . فإنك إذا أردت أن

www.ibtesama.com/vb

تسافـر من «كنجز كروس» إلى إدنبرة ، فـأنت تعلم أنك ستجـد «كنجز كروس» حيـث كانت دائماً ، وأن الخط الحديدى سـيسلك نفس الطريق الذى اتبعه حين قمت برحلتك الأخيرة ، وأن محطة «ويفرلى» بأدنبرة لن تكون قد انتقلت إلى «القلعة» . ومن ثم فإنك تقول وتعتقد أنك سافرت إلى إدنبره ، لا أن إدنبـرة هى التى سافـرت إليك ، وإن كانت العـبارة الأخـيـرة لا تقل من حـيث الدقـة عن الأولى . ونجـاح هذه النظرة التى تستقيم مع الفطرة السليمة تعتمـد على مجموعة من الأشياء تدخل حقاً فى باب الحظ . فلنفـرض أن منازل لندن تتحـرك حركـة دائمة كـسرب من النحل ، ولنفتـرض أن خطوط السكك الحديدية تتـحرك وتغيـر أشكالها كالسيول ، ولنفـترض أخيراً أن الأشياء المادية تتشكل باسـتمرار وتتحلل كالسحب . هذه جميعاً افـتراضات لا تنطوى على شىء من الاستحالة ، ولكن من الواضح أن مـا نسميـه رحلة إلى إدنبرة لن يكون له مـعنى فى مثل هذا العالم ، وسـتبدأ بلا شك بأن تسأل سائق التـاكسى «أين يوجد كنجز كـروس هذا الصباح ؟» ولن تجـد بدا - فى المحطة - من أن تسأل سؤالا مماثلا عن إدنبـرة ، غير أن عامل التـذاكر سيجـيب عليك قائلا : «أى جزء من إدنبره تعنيه يا سيـدى ؟ إن شارع البرنس (الأمير) قد ذهب إلى جلاسـجو ، والقلعة قد صـعدت إلى الجبال (الهـايلاندز) ، ومحطة ويفـرلى مـوجـودة الآن تحـت الماء وسط «فـيـرث فـووث» . وفـى أثناء الرحـلة ، لـن تبقى المحطات ساكنة إذ يكون بعضها راحلا إلى الشمال ،

www.ibtesama.com/vb

وبعضها الآخر إلى الجنوب أو الشرق أو الغرب ، وربما كانت رحلتها هذه أسرع كثيراً من القطار : فى مثل هذه الظروف لن تستطيع أن تقول أين أنت فى لحظة معينة . والواقع أن فكرة وجود الإنسان دائماً فى «مكان ، محدد ترجع إلى الثبات المحظوظ لمعظم الأشياء الكبيرة القائمة على سطح الأرض . وما فكرة «المكان» سوى تقريب عملى غليظ : إذ لا تتضمن شيئا ضرورياً من الوجهة المنطقية ، كما لا يمكن تحديدها تحديداً دقيقاً .

ولو أننا لم نكن أكبر كثيراً من الإلكترون ، لما كان لدينا ذلك الإحساس بالثبات الذى لايرجع إلا إلى ما تتصف به حواسنا من غلظة ، وستكون «كنجز كروس» التى تبدو - لنا صلبة - من الاتساع بحيث لا يستطيع أن يتصورها غير عدد قليل من علماء الرياضة الشواذ . وستكون القطع الصغيرة التى نستطيع أن نراها منها مؤلفة من نقط صغيرة غاية فى الصغر من المادة ، بحيث لا يتصل بعضها بالبعض الآخر أبدا ، بل تدور باستمرار الواحدة حول الأخرى فى رقصة من رقصات البالية السريعة سرعة لا سبيل إلى تصورها . وسيكون عالم تجربتنا على قدر من الجنون يساوى ما عليه العالم الذى تسير فيه أجزاء إدنبرة المختلفة فى اتجاهات مختلفة ولو أننا كنا - على سبيل التطرف المضاد - فى حجم الشمس ، وكانت أعمارنا كعمرها - فسوف نجد - ببطء مناظر فى الإدراك - كوناً مقلوباً رأساً على عقب لا يعرف الدوام - النجوم والكواكب فيه تغدو

www.ibtesama.com/vb

وتذهب كغامات الصباح ، ولن يبقى ثمة شىء فى مركز ثابت بالنسبة لأى شىء آخر . وهكذا ترجع فكرة الثبات المقارن التى تؤلف جزءاً من نظرتنا العادية إلى تلك الحقيقة ؛ وهى أننا بالحجم الذى نحن عليه ، وإلى أننا نعيش على كوكب سطحه غير مرتفع الحرارة إرتفاعاً كبيراً . ولو لم تكن هذه حالنا لما وجدنا الفيزياء السابقة على النسبية مرضية من الناحية العقلية . وما كنا اخترعنا مثل هذه النظريات بكل تأكيد ، ولتوصلنا إلى الفيزياء النسبية فى وثبة واحدة ، أو ظللنا جاهلين بالقوانين العملية . ومن حسن حظنا أننا لم نواجه الاختيار بين أحد هذين الأمرين ، ما دام يكاد يكون من غير المتصور أن يقوم رجل واحد بما قام به إقليدس وجاليليو ونيوتن وأينشتين . ومع ذلك فمن الصعب - بدون هذه العبقرية الخارقة - أن يكون من المتعذر اكتشاف الفيزياء فى عالم يبدو فيه التدفق flux الشامل واضحاً للملاحظة غير العلمية .

وفى عالم الفلك ، على الرغم من أن الشمس والقمر والنجوم تواصل وجودها عاما بعد عام «فإن العالم - الذى يجب أن نتناوله - مختلف من جوانب أخرى عن عالم الحياة اليومية ، إختلافا شديداً . فنحن نعتمد - كما سبق أن لاحظنا - على حاسة النظر وحدها : إذ لا نستطيع أن نلمس الأجرام السماوية أو أن نسمعها أو أن نشمها أو أن نتذوقها . وكل شىء فى السماء يتحرك بالنسبة لكل ما عداه . الأرض تدور حول الشمس . والشمس تتحرك أسرع كثيراً من القطار السريع

www.ibtesama.com/vb

صوب نقطة فى برج هرقل ، والنجوم «الثابتة» تمرق هنا وهناك كمجموعة من الدجاجات المذعورة . ولا وجود فى السماء لأماكن مميزة كمحطة «كنجز كروس» أو إدنبرة . وعندما تسافر على الأرض من مكان إلى مكان ، نقول إن القطار يتحرك لا المحطات . لأن المحطات تحافظ على علاقاتها الطبوغرافية (المكانية) إحداها بالأخرى ، وبالبلاد المحيطة بها . أما فى علم الفلك فإنه من التعسف أن تحدد أيهما القطار وأيهما المحطة : ولا تتحدد هذه المسألة إلا بالاتفاق البحت ولمجرد الاصطلاح .

ومن الطريف ، فى هذا المجال - أن نضع«أينشتين» فى مقابل «كوبرنيكس» فقد كان الناس يعتقدون قبل كوبرنيكس أن الأرض ساكنة ، وأن السماء تدور حولها مرة كل يوم - وذهب «كوبرنيكس» إلى أن الأرض تدور «حقاً» مرة كل يوم . وأن الدوران اليومى للشمس والنجوم دوران «ظاهرى فحسب . وتبنى جاليليو ونيوتن هذا الرأى ، وكان من المعتقد أن هناك أشياء كثيرة تثبته ، مثل تفلطح الأرض عند القطبين ، وأن الأجسام أثقل هناك منها عند خط الاستواء . أما فى النظرية الحديثة فإن الخلاف بين كوبرنيكس وأسلافه مجرد اختلاف اصطلاحى ، فكل حركة نسبية ، ولا خلاف هناك بين القضيتين : «الأرض تدور مرة كل يوم» و«السماء تدور حول الأرض مرة كل يوم» . هاتان القضيتان تعنيان شيئاً واحداً بعينه ، تماماً مثلما أقول إن شيئاً معينا طوله ست أقدام أو ياردتان . وعلم الفلك أيسر إذا أخذنا الشمس على أنها ثابتة بدلا من

www.ibtesama.com/vb

الأرض ، كالحسابات تكون أسهل بالعملة العشرية . أما أن يقول المرء شيئاً أكثر من ذلك عن كوبرنيكس فهذا معناه افتراض الحركة المطلقة وهذا وهم . كل حركة نسبية والنظر إلى جسم ما بوصفه ثابتاً ، مجرد اتفاق ، وكل هذه الاتفاقات مشروعة على حد سواء ، وإن لم تكن جميعاً على درجة واحدة من السهولة .

ثم مسألة أخرى على جانب عظيم من الأهمية يختلف فيها الفلك عن الفيزياء الأرضية لاعتماده اعتماداً مقصوراً على البصر : استخدام كل من التفكير الشعبى والفيزياء العتيقة فكرة «القوة» التى بدت واضحة لأنها كانت مرتبطة بالإحساسات المألوفة ، فنحن حين نسير ، نشعر بإحساسات ترتبط بعضلاتنا ، وهذه الإحساسات لا نشعر بها حين نجلس ساكنين . وفى العصور السابقة على السحب الميكانيكي ، وعلى الرغم من أن الناس كانوا يستطيعون السفر وهم جلوس فى عرباتهم ، فإنهم كانوا يستطيعون أن يشاهدوا - فى وضوح - الجياد تجهد نفسها ، وتبذل «قوتها» بنفس الطريقة التى يبذل بها الناس قواهم . وكل إنسان يعرف بالخبرة ما يعنيه الدفع أو الجر ، وما يعنيه أن يدفع وأن يجر . وهذه الحقائق المألوفة للغاية جعلت «القوة» تبدو أساساً طبيعياً لعلم الديناميكا . غير أن قانون نيوتن للجاذبية أقام عقبة فى هذا السبيل ، فالقوة الموجودة بين كرتين من كرات البلياردو تبدو مفهومة لأننا نعرف ما يعنيه الاصطدام بشخص آخر ، أما القوة الموجودة بين الأرض والشمس التى تبعد عنها

www.ibtesama.com/vb

ثلاثة وتسعين مليوناً من الأميال فأمرها غامض . وقد رأى نيوتن نفسه أن «الفعل على البعد» مستحيل ، ومن ثم فقد اعتقد أن هناك نظاماً آليا لم يكتشف بعد ، يجعل تأثير الشمس ينتقل إلى الكواكب . وأيما كان الأمر ، فإن مثل هذا النظام الآلى لم يكتشف ، وظلت الجاذبية لغزاً . والحقيقة هى أن تصور «القوة» برمته تصور خاطىء . والشمس لا تمارس أية قوة على الكواكب وفى قانون أينشتين للجاذبية . كل ما يفعله الكوكب هو أنه ينتبه إلى ما يجده فى المناطق المجاورة له . أما كيف يتم هذا الانتباه فسوف نشرحه فى فصل آخر ، وأما الآن فنحن مهتمون بضرورة التخلى عن فكرة «القوة» التى ترجع إلى التصورات المضللة المستمدة من حاسة اللمس .

وكلما تقدمت الفيزياء ، بدأ من الواضح أكثر فأكثر أن النظر أقل تضليلاً من اللمس بوصفه مصدراً للأفكار الأساسية التى نكونها عن المادة . والبساطة الظاهرة فى أصدام كرات البلياردو بساطة وهمية تماما والواقع أن كرتى البلياردو لا تتلامسان قط ، وما يحدث حقاً معقد بصورة لا سبيل إلى تصورها ، ولكنه أشبه بما يحدث حين ينفذ شهاب إلى النظام الشمسى ويخرج منه ثانية ، منه بما يفترض الحس العام حدوثه .

إن معظم ما قلناه آنفاً ، قد عرفه علماء الطبيعة فعلا قبل أن يخترع أينشتين نظرية النسبية . فقد كان من المعروف أن «القوة» مجرد وهم رياضى ، كما كان من المعتقد أن الحركة مجرد ظاهرة نسبية ، أى أنه

www.ibtesama.com/vb

حين يغير جسمان موضعهما النسبى فإننا لا نستطيع أن نقول إن أحدهما يتحرك ، بينما الآخر ثابت ، مادامت الحادثة مجرد تغير فى علاقة أحدهما بالآخر . غير أنه كان لابد من كدح عظيم حتى يمكن أن تنسجم عمليات الفيزياء الفعلية مع هذه المعتقدات الجديدة . وكان نيوتن يعتقد فى القوة وفى المكان والزمان المطلقين ، وقد أدخل هذه المعتقدات فى مناهجه الفنية ، وظلت مناهجه هى المناهج التى يتبعها الفيزيائيون الذين جاءوا بعده ، أما أينشتين فقد اخترع منهجاً جديداً متحرراً من افتراضات نيوتن . ولكنه كان لابد له - لكى يفعل ذلك - من أن يغير الأفكار القديمة عن الزمان والمكان تغييراً أساسياً ، وهى أفكار لم يستطع أن يتحداها أحد منذ أزمنة سحيقة . وهنا تكمن صعوبة هذه النظرية وطرافتها ولكن ، قبل شرحها ، ثمة تمهيدات أولية لا غنى عنها . وهذا هو موضوع الفصلين التاليين .

www.ibtesama.com/vb

FARES_MASRY
www.ibtesama.com/vb
منتديات مجلة الإبتسامة

www.ibtesama.com/vb

الفصل الثانى

مَا يَحدث ومَا يشاهدُ

ثمة نمط معين من الأشخاص الممتازين كلف بتأكيد أن «كل شىء نسبى» وهذا ، بالطبع ، هراء ، لأنه إذا كان «كل شىء» نسبيا ، فلن يكون هناك «شىء» تصبح الأشياء نسبية إليه . ومهما يكن من أمر ، فمن الممكن أن نعتقد - دون الوقوع فى ضروب المحال الميتافيزيقية - أن كل شىء فى العالم الفيزيائى نسبى لمشاهد ما وهذا الرأى - سواء أكان صحيحاً أم لم يكن - ليس هو الرأى الذى تثبته «نظرية النسبية» . وربما كان الاسم غير موفق ، فمن المؤكد أنه قد أوقع الفلاسفة وغير المتعلمين في ضروب من الخلط ، إذ يتخيلون أن النظرية الجديدة تثبت أن «كل شىء» فى العالم الفيزيائى نسبى ، بينما الأمر على العكس من ذلك ، إذ تحرص هذه النظرية الجديدة حرصاً تاماً على استبعاد كل ما هو نسبى ، والوصول إلى صيغة للقوانين الفيزيائية لا تعتمد بحال من الأحوال على ظروف المشاهد . والحق أن هذه الظروف قد وجد أن لها تأثيراً على ما يتبدى للمشاهد ، تأثيراً أعظم مما كان يذهب إليه الفكر قبل ذلك ، غير أن أينشتين ، أوضح - فى الوقت نفسه - كيفية التخلص من هذا الأثر تخلصاً تاماً . وهذا هو مصدر كل ما يبعث على الدهشة فى نظريته تقريباً .

www.ibtesama.com/vb

حين يدرك أثنان من المشاهدين ما ينظر على أنه حادث واحد ، يكون بين إدراكيهما تشابهات معينة ، واختلافات معينة أيضاً . أما الاختلافات فتطمسها مقتضايات الحياة اليومية ، لأنها تافهة من وجهة النظر العلمية . غير أن علم النفس وعلم الفيزياء مرغمان - كل من زاويته المختلفة عن الآخر - على تأكيد الجوانب التى يختلف فيها إدراك شخص لحادثة معطاة عن إدراك شخص آخر لهذه الحادثة نفسها . ويرجع بعض هذه الاختلافات إلى اختلافات فى أمخاخ أو عقول المشاهدين ، وقد يرجع بعضها إلى اختلافات فى أعضاء الحس ، أو إلى الموقف الفيزيائى ، ويمكن أن نسمى هذه الأنواع الثلاثة على التوالى : النفسى ، والفسيولوجى، والفيزيائى نحن نسمع ملاحظة ما إذا قيلت بلغة نعرفها ، على حين قد تمضى ملاحظة تقال بصوت مرتفع وبلغة لا نعرفها - دون أن نفطن إليها قط . وإذا وقف رجلان على جبال الألب ، فقد يدرك أحدهما جمال المنظر ، بينما يلاحظ الآخر مساقط المياه وكيفية الحصول على الطاقة منها : هذه اختلافات نفسية . أما الاختلافات بين رجل بعيد النظر ورجل قصير النظر أو بين رجل أصم ، ورجل مرهف السمع ، فهى اختلافات فسيولوجية . وهذان النوعان من الاختلافات لا نهتم بهما ، ولم أذكرهما إلا لكى أستبعدهما . والنوع الذى يهمنا هو النوع الفيزيائى البحت . والاختلافات الفيزيائية بين مشاهدين تظل قائمة حين نستبدل المشاهدين بآلتين للتسجيل ، ومن الممكن إعادة إنتاجها فى فيلم أو على جراموفون . وإذا استمع رجلان إلى شخص ثالث يتحدث ، وكان

www.ibtesama.com/vb

أحدهما أقرب إلى المتحدث من الآخر ، فإن الأقرب سيستمع إلى أصوات أعلى وأسبق قليلا من الأصوات التى يسمعها الآخر . وإذا راقب رجلان شجرة تسقط ، فإن كلا منهما سيراها من زاوية مختلفة . وهذه الإختلافات تبينها آلات التسجيل نفس البيان . فهى ليست راجعة إلى انحرافات فى المشاهدين ، ولكنها جزء من المجرى العادى للطبيعة الفيزيائية كما نخبرها .

ويعتقد الفيزيائى - شأنه فى ذلك شأن الرجل العادى - أن إدراكاته الحسية تمنحه معرفة ما يحدث حقاً فى العالم الفيزيائى ، لا عن تجاربه الخاصة فحسب . وهو ينظر إلى العالم الفيزيائى - من وجهة نظر المهنة - على أنه «حقيقى» ، لا بوصفه مجرد شىء تحلم به الكائنات الإنسانية . فكسوف الشمس - مثلا - يمكن أن يشاهده أى شخص إذا وقف فى مكان مناسب ، كما تشاهده أيضاً الألواح الفوتوغرافية المخصصة لهذا الغرض . والفيزيائى مقتنع بأن شيئاً قد حدث حقاً يتجاوز تجربة أولئك الذين نظروا إلى الشمس أو إلى صور لها . ولقد ألححت على هذه النقطة التى قد تبدو واضحة وضوحاً لا يحتاج إلى فضل بيان ، لأن بعض الناس يتخيلون أن أينشتين أحدث اختلافاً من هذه الناحية . والواقع أنه لم يأت بشىء من هذا القبيل .

ولكن إذا كان للفيزيائى ما يبرر اعتقاده فى أن عدداً من الناس يمكن أن يشاهد «نفس» الحادث الفيزيائى ، فمن الواضح إذن أن الفيزيائى

www.ibtesama.com/vb

ينبغى أن تهتم بتلك السمات المشتركة فى الحادث بالنسبة للمشاهدين جميعاً ، لأن السمات الأخرى لا يمكن أن ينظر إليها بوصفها منتسبة للحادث نفسه . أو على الأقل ، ينبغى أن يقصر الفيزيائى نفسه على السمات المشتركة للملاحظين الذين هم على «مستوى واحد من الصلاحية» . فالمشاهد الذى - يستخدم مجهراً أو منظاراً فلكياً مفضل على المشاهد الذى لا يستخدم شيئاً ، ذلك لأنه يرى كل ما يراه هذا الأخير ، وأكثر منه أيضاً وقد «يرى» لوحاً فوتوغرافياً حساساً ، أكثر من ذلك ومن ثم فإنه مفضل على أية عين . أما الاختلافات الخاصة بالمنظور ، أو بالحجم الظاهرى التى ترجع إلى اختلاف المسافة ، فمن الواضح أنها لا ترجع إلى الشيء موضوع المشاهدة ، فهى تنتسب إلى وجهة نظر المشاهد فحسب . ويحذف الحس العام هذه الاختلافات فى حكمه على الأشياء ، وعلى الفيزياء أن تمضى بهذه العملية نفسها إلى أبعد من ذلك كثيراً ، غير أن المبدأ واحد بعينه .

وأحب أن أوضح أننى لست مهتما بما يمكن أن يسمى عدم الدقة ، فأنا مهتم بالاختلافات الفيزيائية الحقيقية بين الوقائع التى يعد كل منها وصفاً صحيحاً لحادثة معينة ، من وجهة نظرها الخاصة . فحين يطلق رجل مدفعاً ، فإن الأشخاص الذين ليسوا على مقربة منه تماماً ، يرون الومضة ، قبل أن يسمعوا صوت المدفع ، ولا يرجع هذ إلى أى عيب فى حواسهم ، وإنما إلى هذه الحقيقة وهى أن الصوت ينتقل انتقالا أبطأ من

www.ibtesama.com/vb

الضوء . والضـوء ينتقل بسرعة إلى درجـة يمكن معها - من وجـهة نظر الظواهر الحادثة على ظهر الأرض - أن نعده فورياً . وكل ما يمكن أن نراه على الأرض يحدث - عـملياً - فى اللحظة التى نراه فـيها . وفى الثـانية الواحـدة يقطع الضـوء ٣٠٠,٠٠٠ كـيلو مـتر (أى حـوالى ١٨٦,٠٠٠ ميل) ، وهو يـنتقل من الشمـس إلى الأرض فى حوالى ثمـانى دقائق ، ومن النجوم ما ينتـقل ضوؤه إلينا فيما بين أربعـة إلى ألف مليون عام . ولكننا ، لا نستطيع بـالطبع أن نضع ساعة على الشـمس ، ونرسل منها ومضة من الضـوء فى الساعة الثانيـة عشر ظهراً بتوقـيت جرينتش ، وأن نستقبلها فى جرينتش فى الساعة الثـانية عشرة وثمانى دقائق بعد الظهر ، إذ لا مناص من أن تكون مناهجنا فى تقـدير سرعة الضـوء غير مبـاشرة بصـورة أو بأخرى . وأشـد المناهج مبـاشـرة هو ذلك الذى نطبقـه على الصـوت حين نستـخدم الصدى . ولكنـنا نستطيع أن نرسل شعـاعا إلى مرآة ، وأن نشاهد الوقـت الذى يستغرقه وصـول الانعكاس إلينا . وبهذا نقيـس الـوقت للرحلة المزدوجة التى قطعـها الشعـاع إلى المرآة ثم ارتداده إلينا . وأيما كان الأمـر ، فإن هذا الوقت قصيـر - على الأرض - قصراً غير مريح ، بحيث لابد للفيزيائيين أن يسـتخدموا - فى التطبيق - منهجا أشد تعقيداً ، بيد أن المبدأ الكامن وراءها مازال هو مبدأ الصدى .

ويستخدم هذا المبدأ نفسه فى الرادار لغرض آخر ، إذ نرسل الموجات اللاسلكية السريعة جداً (التى تبلغ سرعة الضوء) لترتد حين تصطدم بشىء

www.ibtesama.com/vb

بعيد . وعلى ذلك يمكن استنتاج بعد هذا الشيء من الوقت الذى تقطعه الموجات فى ذهابها وإيابها .

وربما قيل لنا إن مشكلة السماح بوجهة نظر المشاهد ، من المشكلات التى أدركتها الفيزياء فى جميع العصور ، والحق أنها قد سيطرت على الفلك منذ عهد «كوبرنيكس» . هذا صحيح ، غير أن الاعتراف بالمبادىء يتم قبل استخلاص نتائجها الكاملة بوقت طويل . وشطر كبير من الفيزياء التقليدية لا يتفق مع هذا المبدأ ، على الرغم من اعتراف الفيزيائيين جميعاً بها من الوجهة النظرية .

ولقد وجدت طائفة من القواعد التى سببت ضربا من عدم الارتياح لذوى العقليات الفلسفية ، ولكنها كانت مقبولة لدى الفيزيائيين لأنها سليمة من حيث التطبيق : وقد ميز لوك بين الصفات «الثانوية» . كالألوان ، والأصوات ، والطعم والروائح . . إلخ - وصفها بأنها ذاتية subjective بينما ذهب إلى أن الصفات «الأولية» . كالأشكال والأوضاع والأحجام ، هى الصفات الحقيقية للأشياء الفيزيائية . وكانت القواعد التى وضعها الفيزيائيون وكأنها نابعة من هذا المذهب ، فذهبوا إلى أن الألوان والأصوات ذاتية ، ولكنهم أرجعوا ذلك إلى موجات تنتقل فى سرعة محددة ، وهى سرعة الضوء أو الصوت على حسب الأحوال - من مصدرها إلى عين المتلقى أو أذنه . وتتباين الأشكال الظاهرية وفقاً لقوانين المنظور ، غير أن هذه القوانين بسيطة ، وتجعل من السهل استنباط

www.ibtesama.com/vb

الأشكال «الحقيـقية» من عدة أشكال بصـرية ظاهرة ، وفضلا عن ذلك ، فإنه من الممكن التأكـد من الأشكال «الحقيقية» باللمس فـى حالة الأجسام المجاورة لنا . أما الزمن الموضـوعى لواقعة فيزيائية فـمن الممكن استنباطه من الزمن الذى نشاهدها فيه بأن نضع فى اعتبارنا سرعة الانتقال - انتقال الضوء أو الصوت أو التيارات العصبـية وفقاً للظروف . وقد كان هذا هو الرأى الذى تبناه الفيزيـائيون - فى التطبيق - أيا كانت وخزات الضـمير التى قد تعتريهم فى اللحظات اللامهنية .

وقد ظل هذا الرأى سليماً حـتى أصبح الفيزيائيون مهـتمين بسرعات أكبر كثيراً من السرعات المألوفة على سطح الأرض . فالقطار السريع يسير بسرعة ميل فى الدقيـقة ، أما الكواكب فتسير عدة أمـيال قلائل فى الثانية الواحدة . وتسـير الشهب حين تكون قريبـة من الشمس ، بسرعـة أكبر كثيراً ، ولكن نظراً لأن أشكالها فى تغيير مستمر ، فإنه من المحال تحديد مواقعها تحديداً دقيقاً جداً . . وقد كانت الكواكب - من الوجهة العملية - هى أسرع الأجسام المتحركة التى يمكن تطبـيق علم الديناميكا عليها تطبيقاً مناسباً . وباكـتشاف النشاط الإشعاعى والأشـعة الكونية ، وببناء الآلات الخاصة بتوليد الطاقة ذات السرعة العالية أصبح من الممكن وجود مجالات جديدة للمشـاهدة . وصار من الممكن مشاهدة حـركة أجزاء الذرة ، تلك الجسيمات التى تتحرك بسرعـات لا تقل كثيراً عن سرعة الضوء ولم يكن سلوك هذه الأجسام المتحركة بتلك السرعات الهائلة هو السلوك الذى تؤدى

www.ibtesama.com/vb

بنا النظريات القـديمة إلى توقـعه ، ومن أمـثلة ذلك ، أنه كان يبـدو أن الكتلة تزداد مع السرعة بصورة محـددة تحديداً تاما . وحين كان الإلكترون يتحـرك بسرعة كبـيرة ، كان يتطلب قـوة أعظم حتى يمكن التأثيـر عليه التأثير المطلوب ، كما لو كان يتحـرك حركة بطيئة ، ثم وجدت الأسباب التى تدعو إلى التفكير فى أن الجسم يتأثر بالحركة ، فلو أنك أخذت مثلا مكعباً وحركته بسرعة كبيرة فـإنه يبدو أقصر فى اتجاه حركته ، من وجهة نظر شخص لا يتحـرك معه وإن كان يبقى كما هو تمامـا من وجهة نظره هو (أى من وجهة نظر مشاهد يتحـرك معه فى نفس اتجاهه) . وكان أشد من ذلك إثارة للدهشة اكتشاف أن مرور الزمن يتوقف على على الحركة ، أعنى لو أن هناك ساعتين دقـيقتين دقة تامة ، . وتتحرك إحـداهما بسرعة كبيرة بـالنسبة للأخرى فإنهمـا لن تستمرا فى بيان الزمن نفسـه لو أنهما عادتا مـعاً مرة أخرى عـقب رحلة ما . وقد كـان هذا الأثر ضئيـلا جداً بحيث لم يكن من الممكن إختبـاره حتى الآن ، ولكنه من الممكن اختباره لو أننا نجحنا فى تقدم السـفر خلال الفضاء ، إذ أننا سنتـمكن حينئذ من القيام برحلات طويلة طولا يكفى لتقدير هذا التـمدد الزمانى كما يطلقون عليه .

وهناك بينه مـباشـرة على «التمـدد الزمانى» ولكنهـا توجد بطريـقة مخـتلفة . هذه البـينة تأتى من المشاهدات الخاصـة بالأشعة الـكونية التى تتألف من مـجمـوعة متـباينة من الجسـيمات الذرية الـقادمة من الفـضاء

www.ibtesama.com/vb

الخارجى ، والتى تتحرك مخترقة الغلاف الجوى للأرض بسرعة عظيمة . وتتحلل بعض هذه الجسيمات التى تسمى «الميزونات» فى أثناء طيرانها ، ومن الممكن مشاهدة هذا التحلل . وكلما كانت حركة الميزون أسرع ، كانت عملية تحلله أطول من وجهة نظر العالم الموجود على الأرض ، ويتبع مثل هذه النتائج أن - ما نكتشفه بوساطة الساعات والمساطر التى اعتدنا أن ننظر إليها بوصفها ذروة العلم - تعتمد حقاً إلى حد ما على الظروف الشخصية ، أى على الطريقة التى تتحرك بها بالنسبة للأجسام التى نقيسها .

وهذا يبين أننا لابد أن ننتهج خطة مختلفة عن الخطة المعتادة فى التمييز بين ما ينتسب إلى المشاهد وما ينتسب إلى الواقعة التى يشاهدها ، ولو أن رجلا كان يضع نظارات زرقاء فإنه يعرف أن نظراته الزرقاء إلى كل شىء ترجع إلى نظاراته لا إلى ما يشاهده . ولكنه إذا كان يشاهد ومضتين من البرق ، وسجل فترة الزمن بين مشاهداته ، وإذا كان يعلم أين حدثت هاتان الومضتان ، وسجل فى كل حالة الزمن الذى يستغرقه الضوء فى الوصول إليه ، ففى هذه الحالة إذا كان الكرونومتر الذى يقاس به دقيقاً ، فسوف تعيقه بالطبع أنه قد اكتشف فترة الزمن الفعلية بين الومضتين لا مجرد شىء شخصى خاص به فحسب . ويتأكد رأيه بهذه الحقيقة وهى أن المشاهدين الآخرين جميعاً المتصلين به يوافقون على تقديراته . وهذا يرجع على كل حال إلى هذه الحقيقة فحسب وهى أن

www.ibtesama.com/vb

هؤلاء المشاهدين جميعاً موجـودون على الأرض ويشاركون فى حركتها . بل إن اثنتين من المشاهدين كـلا منهما فى طيـارة تتحرك فى اتجاه مـضاد للأخرى سيكون لهما على أقصى تقدير سـرعة نسبية مقدارها ثلاثة آلاف ميل فى الساعة ، وهى سرعة ضـعيفة جدا إذا قورنت بـ ١٨٦,٠٠٠ ميل فى الثانية (وهى سـرعة الضوء) ولو استطاع إلكتـرون سرعة ١٧٠,٠٠٠ ميل فى الثـانية أن يشاهد الوقت الذى انقضى بين الومـضتين لوصل إلى تقدير مـختلف تمام الاختلاف بعـد أن يضع فى اعتباره سـرعة الضوء . . وقد يسألنى الـقارىء : وكيف تعرف ذلك ! إنك لست إلكتـروناً ، كما أنك لا تستطيع أن تتـحرك بتلك السرعات المخـيفة ، وما من عـالم قام بالمشاهدات التى تثبت حقيقة عبـارتك . ومع ذلك فهناك كما سنرى فيما يلى - أساســا طبياً لهذه العبـارة - أساساً فى التجـربة - أولا وقبل كل شىء ، وأساســاً - وهذا هو الشىء العجيب - فى الحـجج التى كان من الممكن أن تساق فى أى عصر ، ولكنهــا لم تقم حتى أثبتت التجارب أن الحجج لابد أن تكون مخطئة .

وثمة مـبدأ عام تهـيب به نظرية النسبـية ، وقـد اتضح أن هذا المبدأ أقوى مما يمكن أن يـفترضــة أى إنسان ، فإذا علمــت أن رجلا أغنى من رجل آخر مرتين فـهذه الحقيقـة تظل كما هى سواء قدرت ثروت كليـهما بالجنيهات أو بالدولارات أو بأية عملة أخرى . ســتتغير الأرقام التى تمثل ثروتيهمــا ، بيد أن رقماً سيظل دائمــاً ضعف الرقم الآخر . وهذا الشىء

www.ibtesama.com/vb

نفسه يعود للظهور فى الفيزياء - فى صور أشد تعقيداً ولما كانت كل حركة نسبية فمن الممكن أن تأخذ أى جسم تشاء على أنه معيار الاسناد أو المعيار الأساسى standard of referonce وأن تقدر الحركات الأخرى جميعاً بالإشارة إلى هذا الجسم . فإذا كنت فى قطار وتسير صوب عربة الأكل فمن الطبيعى فى هذه اللحظة أن تعامل القطار على أنه ثابت وأن تقدر حركتك بالنسبة إليه ، ولكنك حين تفكر فى الرحلة التى تقوم بها فإنك تفكر فى الأرض بوصفها ثابتة ، فتقول إنك تتحرك بسرعة ستين ميلا فى الساعة ؛ والفلكى الذى يعنى بالنظام الشمسى يأخذ الشمس بوصفها ثابتة وينظر إليها على أنك تدور وتلف ، وإذا قورنت حركة القطار بهذه الحركة فإن القطار يبدو بطيئاً إلى درجة يمكن معها إهمال سرعته . وقد يضيف الفلكى المهتم بالكون النجمى حركة الشمس بالنسبة لمتوسط سرعة النجوم . وأنت لا تستطيع أن تقول أن طريقة من هذه الطرق التى تقدر بها حركتك أصح من الطرق الأخرى ، فكل منها صحيحة مادامت قد حددت جسم الاسناد وكما أنك تستطيع أن تقدر ثروة شخص ما بعملات مختلفة دون أن تغير علاقتها بثروات الآخرين ، فكذلك تستطيع أن تقدر حركة جسم ما بواسطة أجسام إسناد مختلفة دون تغيير علاقتها مع الحركات الأخرى ، ولما كانت الفيزياء معنية بالعلاقات عناية كاملة فلابد أن يكون من الممكن التعبير عن قوانين الفيزياء جميعاً بإرجاع الحركات كلها إلى أى جسم معين بوصفه معياراً .

www.ibtesama.com/vb

ونستطيع أن نعبر عن هذه المسألة بطريقة أرى . الفيزياء تهدف إلى إعطاء المعلومات عما يحدث حقيقة فى العالم الفيزيائى ، لا عن الادراكات الخاصة للمشاهدين المنفصلين فحسب . ومن ثم ينبغى أن تهتم الفيزياء بتلك السمات التى تشترك فيها العملية الفيزيائية بالنسبة للمشاهدين جميعاً . ما دامت هذه السمات هى التى يمكن النظر إليها على أنها تنتمى إلى الواقعة الفيزيائية نفسها ، وهذا يقتضى أن تكون القوانين التى تتحكم فى الظواهر هى نفسها سواء وصفت هذه الظواهر كما تبدى لمشاهد ، أو وضعت كما تبدو لمشاهد آخر ، وهذا المبدأ الوحيد هو الدافع المولد للنظرية النسبية بأسرها .

والآن ، لقد وجدنا ما كنا ننظر إليه بوصفه الصفات المكانية والزمانية فى الوقائع الفيزيائية - وجدناه معتمداً إلى حد كبير على المشاهد ، ولا يمكن أن تعزى سوى فضلة فحسب إلى الوقائع نفسها ، وهذه الفضلة (أو البقية) وحدها هى ما يمكن أن يدخل فى صياغة أى قانون فيزيائى تتاح له فرصة «قبلية» لكى يكون صحيحاً . وقد وجد أينشتين أداة جاهزة تحت تصرفه فى الرياضة البحتة هى ما تعرف باسم نظرية الكميات الممتدة theory of tensors وهذه النظرية مكنته من اكتشاف قوانين يتم التعبير عنها فى مصطلح البقية الموضوعية وتتفق اتفاقاً تقريباً - مع القوانين القديمة ، وفى الأجزاء التى تختلف فيها قوانين أينشتين عن القوانين القديمة ، تثبت أنها أكثر اتفاقاً مع المشاهدة .

www.ibtesama.com/vb

ولو لم يكن ثمة واقع فى العالم الفيزيائى ، بل مجرد طائفة من الأحلام راودت أشخاصا مختلفين ، لما كان لنا أن نتوقع العثور على أية قوانين تربط أحلام شخص بأحلام شخص آخر . والرابطة الوثيقة بين الإدراكات الحسية لشخص ما وبين الإدراكات الحسية التى يشعر بها شخص آخر فى الوقت نفسه ، هذه الرابطة هى التى تجعلنا نعتقد فى أصل خارجى مشترك للإدراكات المختلفة المترابطة ، وتعنى الفيزياء بالتشابهات والاختلافات الموجودة بين إدراكات الناس لما نسميه واقعة واحدة بعينها . ولكن ، لكى نفعل ذلك ، فمن الضرورى أولا بالنسبة للفيزيائى أن يجد التشابهات . وليست هذه التشابهات هى التشابهات التقليدية المفترضة تماماً . إذ ليس من الممكن أن تأخذ الزمان أو المكان كلا على انفصال بوصفه موضوعياً دقيقاً . والموضوعى نوع من المزيج مؤلف من الاثنين يسمى متصل «المكان - الزمان» Space - time . وشرح ذلك ليس بالشىء اليسير ، ولكن ينبغى أن نقدم على هذه المحاولة ، وهذا ما سنشرع فيه فى الفصل التالى .

www.ibtesama.com/vb

FARES_MASRY
www.ibtesama.com/vb
منتديات مجلة الإبتسامة

www.ibtesama.com/vb

الفصل الثالث

سُرعَة الضَوء

ترتبط معظم الأشياء العجيبـة فى نظرية النسبية بسرعة الضوء . وإذا كان للقـارىء أن يلم بالأسباب التى دعت إلى هذه الإعـادة الخطيرة للبناء النظرى ، فلابد من أن تـكون لديه فكرة عن الحقائق التى جـعلت النسق القديم ينهار .

وقد استقـرت هذه الحقيقة - وهى أن الضوء ينتقل بسـرعة محددة - استقـرت أولاً عن طريق المشاهدات الفلكية . . فأقـمار المشترى يكسـفها المشترى أحيـاناً ، ومن اليسير حساب الأوقات التى يحـدث فيها ذلك . واتضح أنه عندما يكون المشترى قريباً من الأرض قرباً غير عادى ، نشاهد أن أحد أقمـاره ينكسف قبل الوقت المنتظر بعدة دقائق ، وأنه حين يبـتعد المشترى بعداً غيـر مألوف عن الأرض تحدث هذه الظاهرة بعد ذلك بدقائق قليلة عن الوقت المتـوقع . ووجد أنه من الممكن تفـسير هذه الانحـرافات بافتـراض أن للضوء سـرعة مـعينة بحـيث أن هذا الذى نشاهـده يحدث للمـشترى ، إنما قـد حدث حـقاً قـبل ذلك بقليل - وأطول حين يكون المريخ بعيداً منه حين يكون قـريباً . وكذلك وجد أيضاً أن سـرعة الضوء نفسها تفسر حقائق مماثلة فـيما يتعلق بأجزاء أخرى من النظام الشمسى . ومن ثم فقـد اتفق العلماء على أن الضّوء ينتـقل فى الفراغ دائما بسـرعة

www.ibtesama.com/vb

ثابتة معينة هى - على وجه الدقة حوالى ٣٠٩,٠٠٠ كيلو متر فى الثانية (الكيلو متر يعادل خمسة أثمان الميل) وحين ثبت أن الضوء يتألف من موجات ، أصبحت هذه السرعة هى سرعة انتشار الموجات فى الأثير - أو على الأقل «كانت» هذه الموجات تنتشر فى الأثير ، فقد أصبح الأثير الآن شيئاً مشكوكاً فيه ، وإن بقيت الموجات . وهذه السرعة نفسها هى سرعة الموجات اللاسلكية (التى تشبه موجات الضوء ولكنها أطول) وأشعة أكس (التى تشبه موجات الضوء ، ولكنها أقصر) . ومن المعتقد عامة فى هذه الأيام أن هذه السرعة هى السرعة التى تنتشر بها الجاذبية . (وكان من المعتقد - قبل اكتشاف نظرية النسبية أن الجاذبية تنتشر انتشاراً فورياً ، بيد أن هذا الرأى أصبح الآن بلا أساس) .

إلى هنا ، والأمور تسير سيراً هيناً . . ولكن ، ما إن أصبح من الممكن إجراء قياسات دقيقة حتى بدأت الصعوبات تتراكم . فلقد كان من المفروض أن الموجات موجودة فى الأثير ، وبالتالى فإنه ينبغى أن تقاس سرعتها بالنسبة للأثير وبما أن الأثير (إذا كان له وجود) لا يبدى أية مقاومة لحركات الأجرام السماوية ، فمن الطبيعى افتراض أنه لا يشارك فى حركتها ولو أن الأرض تدفع أمامها كمية من الأثير كما تدفع السفينة المياه أمامها . فسيتوقع المرء مقاومة من جانب الأثير مماثلة للمقاومة التى يبديها الماء للسفينة . ومن ثم انعقد الرأى العام على أن الأثير يمكن أن ينفذ من خلال الأجسام دون صعوبة ، كما ينفذ الهواء خلال غربال

www.ibtesama.com/vb

غليظ ، بل إن الأثير ليس نفاذاً . وإذا كان الأمر كذلك ، فلابد أن تكون للأرض وهى تدور فى فلكها سرعة بالنسبة للأثير . وإذا كانت تتحرك عند نقطة من فلكها مع الأثير ، فإنها لابد أن تتحرك فى نقاط أخرى خلاله بنفس السرعة . فلو أنك قمت بنزهة دائرية فى يوم عاصف، فلابد أن تسير شطراً من الرحلة ضد الريح ، أياً كان اتجاه هذا الريح ، والمبدأ فى هذه الحالة واحد بعينه . ويلزم عن ذلك أنك لو اخترت يومين يبعد أحدهما عن الآخر ستة أشهر ، حين تكون الأرض فى فلكها تتحرك فى اتجاهين متضادين تماماً ، فلابد أنها تتحرك ضد - ريح - الأثير فى يوم واحد على الأقل من هذين اليومين .

والآن ، إذا كانت هناك ريح - أثيرية - فمن الواضح أنه بالنسبة لمشاهد يقف على الأرض ، سوف يبدو أن الإشارات الضوئية تنتقل بسرعة أكبر مع الريح منها حين تخترقه ، وأنها أسرع حين تخترقه - منها حين تكون ضده . وهذا ما شرع ميكلسون ومورلى فى اختباره بتجربتهما الشهيرة فقد بعثا بإشارات ضوئية فى اتجاهين متعامدين ، وانعكس كل منهما من مرآة ، وارتد كل منهما إلى المكان الذى أرسل منه . وهنا يستطيع كل إنسان أن يتحقق من هذه الواقعة سواء بالتجربة أو بشىء بسيط من الحساب ، أيهما يستغرق وقتا أطول : إذا جدفت مسافة معينة فى اتجاه التيار ثم عدت إلى مكانك ، أم إذا جدفت نفس المسافة بعرض النهر ثم عدت مرة ثانية ؟ وعلى ذلك إذا كان هناك ريح أثيرية فلابد أن

www.ibtesama.com/vb

تنتقل إحدى الاشارتين الضوئيتين الـلتين تتألفان من موجات فى الأثير - إلى المرآة ثم ترتد بسـرعة أبطأ من الإشـارة الضوئـية الأخـرى . وحاول ميكلسـون ومورلى القيـام بهذه التجربة ، وحـاولا القيام بهـا فى أوضاع مختلفة وقاما بـهـا مرة أخرى فيما بعد . وكان جهازهمـا دقيقاً دقة تكفى للكشف عن الاخـتلاف المتوقع فـى السرعة أو اخـتلاف أصـغر من ذلك كثيراً إن وجـد . ولكنهما لم يشاهد اختلافاً أيا كـانت ضآلته . وكانت النتيـجة مفاجـأة لهما ، كمـا كانت مفـاجأة لكل من عداهما . غـير أن التكرارات الدقيقـة جعلت الشك محالا . وقد أجريت التـجربة لأول مرة عام ١٨٨١ ثم أعـيد بمزيد من التـعقـيد عام ١٨٨٧ ولكـن كان لابد من انقضاء أعوام طويلة حتى يمكن تفسيرها تفسيراً صحيحاً .

فقد وجد أن الافـتراض القائل بأن الأرض تحمل الأثير المجـاور معها فى حركتـها افتراض مستـحيل لعدة أسباب . وبالتـالى ، بدا وكأنما أقيم سد مـنطقى حاول علمـاء الفيـزياء فى بداية الأمر - انـتزاع أنفسـهم منه بوضع افتـراضات تحكمية للغـاية . كان أهم هذه الافتراضـات الافتراض الذى وضـعه فـتـزجيـرالد وأكـمله لورلنتس . وهو المعـروف بافتـراض فتزجيرالد عن التقلص Fitzgera'd Contraction hypoth'sis ويقول هذا الافتراض إنه حين يكون جسـم ما متحركاً فإنه يتقلص فى اتجاه حركته بنسبة معـينة تتوقف على سرعته . وكميـة التقلص كافية لتفسيـر النتيجة السلبيـة التى أسفـرت عنها تجـربة ميكلسون - مـورلى ، ولابد أن تكون

www.ibtesama.com/vb

الرحلة مع التيار والعودة إلى نقطة البداية أقصر حقاً من الرحلة التى يقوم بها المرء بعرض النهر ، كما لابد أن تعبره فى الوقت نفسه . وبالطبع لم يكن من الممكن تسجيل التقلص بالمقاييس لأن قضبـاننا المقياسية ستشارك فيه . فالمسطرة المقسمة إلى أقدام ستكون أقصر إذا وضعت فى خط حركة الأرض منها إذا وضعت متعامدة على خط حركه الأرض ووجهة النظر هذه شبيـهة بخطة الفارس الأبيض الذى أراد أن يصبغ فـوديه باللون الأخضر مستـخدماً فى نفس الوقت مروحـة كبيرة تحـجبهما دائمـاً . والغريب فى الأمر أن الخطة نجحت نجـاحاً لابأس به ، وحين بحث أينشتين فيـها بعد نظريته النسـبية الخاصـة (١٩٠٥) وجد أن الافتراض صحـيح بمعنى ما ، ولكن بمعنى مـا فحـسب ، أى أن ذلك التقلص المفـترض ليس حـقيـقة فيـزيائية ولكنه نتيـجة لمواضعـات معينة فى القـياس وهى مواضـعات إذا وجدت وجهة النظر الصحيحـة ولو مرة واحدة - فإننا نرغم على اعتناقها بيد أننى لا أريد أن أعرض حل أينشتـين لهذا اللغز بعد ، وإنما أريد فى الوقت الحاضر أن أوضح طبيعة اللغز نفسه .

وإذا اقتـصرنـا على سطح المسألة وبقـينا بمعزل عن الافـتراض لـهذا السبب ، فقد أوضحت تجربة ميكلسون - مورلى (مع غيرها من التجارب) أن سرعة الضوء بالنسبة للأرض - هى نفسـها فى جميع الاتجاهات ، وهذا يصـدق على أوقات السـنة كلها علـى الـرغم من أن اتجاه حـركـة الأرض يتغير دائماً فى دورانها حول الشمس . وقد ظهر فضلا عن ذلك - أن

www.ibtesama.com/vb

هذه الصفة لا تقتصر على الأرض وحدها ، ولكنها تنطبق على الأجسام جميعا : فإذا أرسلت إشارة ضوئية من جسم ما فإن هذا الجسم سيبقى فى مركز الموجات أثناء انتقالها إلى الخارج بغض النظر عن كيفية تحركها - وعلى الأقل فإن هذا سيكون رأى المشاهدين الذين يتحركون مع الجسم وهذا هو المعنى الواضح الطبيعى لتلك التجارب ، وقد نجح أينشتين فى اختراع نظرية تقبل هذه التجارب ، بيد أن العلماء كانوا يعتقدون - فى البداية - أن قبول هذا المعنى الواضح الطبيعى مستحيل منطقياً .

وستوضح بعض الأمثلة القليلة مدى ما تنطوى عليه هذه الحقائق من غرابة . حين تطلق قذيفة ، فإنها تتحرك حركة أسرع من الصوت ، ويرى الناس الذين أطلقت عليهم القذيفة الومضة أولا ثم يرون بعد ذلك (إذا كانوا محظوظين) القذيفة وهى تنطلق . ويسمعون صوتها فى نهاية الأمر ، ومن الجلى أنه لو وضعت مشاهداً علمياً على القذيفة فإنه لن يسمع الصوت مطلقاً لأن القذيفة سوف تنفجر وتقتله قبل أن يصل إليه صوتها . ولكن إذا كان الصوت يسير على نفس المبدأ الذى يتبعه الضوء فإن مشاهدنا سوف يسمع كل شىء وكأنه ثابت لم يتحرك من مكانه . وفى هذه الحالة لو ربط ستار - صالح لاحداث الأصداء - بالقذيفة منتقلا معها - وليكن ذلك بمائة ياردة أمامها - فإن مشاهدنا سوف يسمع صدى الصوت من الستار بعد فترة الزمن نفسها وكأنه هو والقذيفة ثابتان فى مكانهما . وهذه بلا شك تجربة ليس من الممكن إجراؤها ، غير أن بعض

www.ibtesama.com/vb

التجارب التى يمكن إجراؤها ستوضح الفرق . قد تجد مكانا على خط حديدى حيث يوجد صدى منبعث من مكان بعيد على هذا الخط وليكن مكانا يخترق فيه الخط الحديدى نفقا - وحين يسير قطار على الخط دع رجل على الرصيف يطلق مسدساً . فإذا كان القطار يسير صوب الصدى فسوف يسمع الركاب الصدى بأسرع ما يسمعه الرجل الموجود على الرصيف . وإذا كان القطار يسير فى الاتجاه المضاد فسوف يسمعونه بعد ذلك . بيد أن هذه ليست هذه الظروف التى أجريت فيها تجربة ميكلسون - مورلى تماماً . فالمرايا فى هذه التجربة تناظر الصدى ، ولكن المرايا تتحرك مع الأرض وهكذا كان ينبغى أن يتحرك الصدى مع القطار فلنفترض أن الطلقة أطلقت من عربة الحارس وأن الصدى يأتى من ستار على القاطرة ، وسنفترض أن المسافة بين عربة الحارس والقاطرة هى المسافة التى يمكن أن يقطعها الصوت فى الثانية (حوالى خمس ميل) وأن سرعة القطار هى $\frac{١}{١٢}$ من سرعة الصوت (حوال ستين ميلا فى الساعة) . وهكذا تكون لدينا الآن تجربة يمكن أن يجريها ركاب القطار ، فإذا كان القطار ثابتاً ، فسيسمع الحارس الصدى فى ثانيتين ، أما إذا كان متحركا - وفقاً لما افترضت - فسوف يسمع الصدى فى ثانيتين و $\frac{٢}{١٤٣}$ من الثانية . فإذا كان يعرف سرعة الصوت ، فإنه يستطيع من هذا الفرق أن يحسب سرعة القطار حتى ولو كان ذلك فى ليلة يسودها الضباب بحيث لا يستطيع أن يرى الجانبين . ولكن إذا كان الصوت يسلك مسلك

www.ibtesama.com/vb

الضوء فإنه سوف يسمع الصدى فى ثانيتين أيا كانت السرعة التى يسير بها القطار . وسوف تساعدنا أمثلة أخرى على أن نتبين من وجهة نظر التقاليد والفطرة السليمة - مدى خروج الوقائع الخاصة بسرعة الضوء عن المألوف . فكل منا يعرف أنك لو كنت فى «سلم صاعد» فإنك سوف تصل إلى القمة لو أنك مشيت أسرع مما لو وقفت بلا حراك . ولكن إذا كان السلم الصاعد يتحرك بسرعة الضوء (وهذا مالا يفعله حتى فى نيويورك) فإنك ستصل إلى القمة فى نفس اللحظة سواء مشيت أم بقيت ساكناً . وإليك مثلا آخر : لو أنك كنت سائراً فى طريق بسرعة أربعة أميال فى الساعة . وعبرت بك سيارة فى نفس الإتجاه بسرعة أربعين ميلا فى الساعة وإذا مضيت أنت والسيارة فى المسيرة ، فإن المسافة بينك وبينها ستكون بعد ساعة ستة وثلاثين ميلا . ولكن إذا التقت بك السيارة لأنها تسير فى الاتجاه المضاد ، فإن المسافة بينكما ستكون بعد ساعة أربعة وأربعين ميلا . والآن ، إذا كانت السيارة تسير بسرعة الضوء . فلن يكون ثمة خلاف سواء التقت بك أم تجاوزتك ، ففى كلتا الحالتين . ستكون بعد ثانية واحدة ، على بعد ٨٦,٠٠٠ ميل منك ، بل إنها ستكون أيضا على بعض ١٨٦,٠٠٠ ميل من أية سيارة تصادف أنها تجاوزتك أو التقت بك بسرعة أقل فى الثانية السابقة. وهذا يبدو محالا ، إذ كيف تكون السيارة على نفس المسافة بالنسبة لعدد من النقط المختلفة الواقعة على طول الطريق ؟

www.ibtesama.com/vb

فلنأخذ مثلا آخر ، حين تلمس ذبابة سطح بركة راكدة ، فإنها تحدث موجات تتحرك إلى الخارج فى دوائر تتسع شيئاً فشيئا ، ومركز الدائرة فى أية لحظة هو النقطة التى لمستها الذبابة من البركة . وإذا تحركت الذبابة فوق سطح البركة ، فإنها لن تبقى فى مركز الموجات . ولكن إذا كانت هذه الموجات هى موجات الضوء وكانت الذبابة عالماً فيزيائياً محنكا ، فسوف نجد أنها باقية دائماً فى مركز الموجات أيا كانت حركتها ، وفى الوقت نفسه ، سوف يحكم الفيزيائى المحنك الذى يجلس إلى جانب البركة - سيحكم - كما هو الحال فى الموجات العادية - بأن المركز لم يكن الذبابة ، بل نقطة البركة التى لمستها الذبابة وإذا لمست ذبابة وأخرى سطح الماء فى نفس النقطة وفى نفس اللحظة ، فستجد أنها باقية فى مركز الموجات ، حتى ولو فصلت نفسها بعيداً عن الذبابة الأولى . وهذا يماثل تجربة ميكلسون - مورلى مماثلة تامة ، فالبركة تناظر الأثير ، والذبابة تناظر الأرض ، واتصال الذبابة بالبركة يناظر الإشارة الضوئية التى بعث بها ميكلسون ومورلى ، كما تناظر الموجات المائية موجات الضوء .

وقد تبدو هذه الحالة مستحيلة للوهلة الأولى ، فليس غريباً أنه على الرغم من أن تجربة ميكلسون - مورلى قد أجريت عام ١٨٨١ فإنها لم تفسر تفسيراً صحيحاً إلا عام ١٩٠٥ . دعنا نرى الآن ما نقصده بما قلناه تماماً . خذ الرجل السائر فى الطريق الذى عبرت به السيارة . وافترض أن هناك عدداً من الناس فى نفس النقطة من الطريق ، بعضهم يمشى

www.ibtesama.com/vb

وبعضهم الآخر يستقل سيارة ، وافتـرض أنهم يسيرون بسرعات متباينة ، وفى إتجاهات مختلفة ، أقول إنه لو أرسلت فى هذه اللحظة ومضة ضوئية من المكان الذى يوجدون فيه جميعـاً ، فإن الموجات الضوئية ستكون على بعد ١٨٦,٠٠٠ ميل من كل منهما بعد مرور ثانية واحدة من ساعته على الرغم من أن المسافرين لن يكونوا جميـعاً حينذاك فى مكان واحد بعينه . وفى نهاية ثانيـة واحدة - بساعتك - ستكون عـلى بعد ١٨٦,٠٠٠ ميل منك ، كما ستكون على بعـد ١٨٦,٠٠٠ ميل من الشخص الذى التقى بك حين أرسلت الومضة ولكـنه كان يتحرك فى الإتجاه المضـاد بعد ثانية واحدة من ساعتـه - مفترضين أن الساعتين مضـبوطتان . فكيف يمكن أن يحدث ذلك ؟

ثمة طريقة واحدة فـحسب لتفسير مـثل هذه الوقائع ، وهذه الطريقة هى أن نفترض أن ساعات الجيب وساعات الحائط تتأثر بالحركة ولا أعنى بذلك أنها تتـأثر بطرائق يمكن علاجـها بمزيد من الدقة فى التـركيب بل أعنى شيئـاً آخر أكثر جوهرية . وإنما أعنى إنك حين تقول إن سـاعة قد انقضت بين حـادثتين ، وحين تؤسس تأكيـدك هذا على قيـاسات مثـالية دقيقة قـامت بها كرونومترات مثـالية فى دقتها ، فإن شـخصاً يماثلك فى الدقة ، كان يتحرك بسرعة نسـبية بالنسبة لك ، قد يحكم بأن الزمن كان أكثر أو أقل من سـاعة . فى هذه الحالة لن نستطيع أن نقول إن شـخصاً منكما على صـواب ، والآخر مخطىء ، كـما أنك لا تسـتطيع أن تفعل

www.ibtesama.com/vb

ذلك إذا استخـدم أحدكما ساعـة مضبوطة على وقت جرينتش واسـتخدم الآخر ساعة مضبوطة على وقت نـيويورك . أما كيف يحدث ذلك ، فهذا ما سأشرحه فى الفصل التالى .

وهناك أشياء أخرى عجيبة تتعلق بسرعة الضوء ، ومن هذه العجائب أنه ما من جـسم مادى يمكن أن يتحـرك أبدًا بسرعة الضـوء . أيا كانت القـوة التى تـدفعـه ، وأيا كـان طول الزمن الذى يمـكن أن تؤثر به هذه القـوة . وربما أعـاننا مـثل على توضـيح ذلك . يرى المرء أحـيـاناً فى المعـارض مجـموعـة من الأرصفـة المتـحركـة . تدور وتدور فى دائرة ، الرصيف الخارجى يدور بسرعة أربعـة أميال فى الساعة ، والرصيف الذى يليه بسرعـة تزيد أربعة أميال عن سرعـة الأول وهلم جرا . وتستطيع أن تخطو من واحد إلى الآخـر حتى تجد نفسك تدور بسـرعة هائلة والآن ، ربما اعتقدت أنه ما دام الرصيف الأول يقطع أربعة أميال فى الساعة ، وأن الثانى يتحرك بسرعة تزيد أربعة أمـيال على سرعة الأول . فهذا معناه أن الرصيف الثانى يقطع ثمانية أميال بالنسبة للأرض ، وهذا خطأ . ذلك أن الرصـيف الثانى تقل سـرعتـه قليـلا عن ذلك ، بحيث لا تسـتطيع أدق القياسات أن نكتشف الفرق . وأريد أن أوضح مـا أعنيه توضيحا تاماً . وسأفترض أننا فى الصباح والجـهاز على أهبة العمل ، وهناك ثلاثة رجال يقفون فى صف واحـد وكل منهما يحمل كرونومتـراً دقيقاً ، والأول على الأرض بسرعة أربعة أميال فى السـاعـة بالنسبة للأرض . وأربعة أميال فى

www.ibtesama.com/vb

الساعة معناها ٣٥٢ قدمـا فى الدقيقة ، ويحدد للرجل الواقف على الأرض بعـد دقيقـة من ساعـته المـكان المقابل على الأرض للرجل الموجـود على الرصيف الأول . وهذا الرجل يقف ساكنا بينمـا كان الرصيف يدور به . ويقـيس الرجل الواقف على الأرض المسـافـة على الأرض من المكان الذى يقـف فيـه إلى النقطة المقابلة للرجل عـلى الرصيف الأول فيـجدها ٣٥٢ قدماً ، ويسجل الرجل الواقف على الرصيف الأول - بعد مرور دقيقة من ساعته ، النقطة المقابلة على رصيفه للرجل الموجود على الرصيف الثانى ، ويقيس الرجل الواقع على الرصيف الأول المسـافة بينه وبين النقطة المقابلة للرجل الواقف على الرصيف الثانى ، فيجـد أنها ٣٥٢ قدما مرة أخرى . مشكلة : إلى أى مدى يمكن أن يحـدد الرجل الواقف على الأرض المسافة التى قطعها الرجل الواقف على الرصيف الثانى فى دقيقة واحدة ؟ أعنى ، لو أن الرجل الواقف على الأرض حـدد بعد دقـيقة واحـدة من ساعـته - المكان المقابل على الأرض للرجل الموجود على الرصيـف الثانى ، فما بعد هذه النقطة عن الرجل الواقف عـلى الأرض ؟ سيقـول إنها ضـعف ٣٥٢ قدما . أى ٧٠٤ قدماً ، ولكنها ستكون فى الحقيقة أقل قليلاً ، وإن تكن من القلة بحيث لا يكون ثمة سبـيل إلى تقديرها ، وهذا الاختلاف راجع إلى أن السـاعتين لا تحـافظان على الوقت المضبـوط ، على الرغم من أن كلتيهما دقيقة من وجهة نظر صـاحبها . فإذا كانت لديك مجموعة طويلة من هذه الأرصفـة المتحركـة ، وكل منها يتحرك أربـعة أميال فى السـاعة

www.ibtesama.com/vb

بالنسبة للرصيف الذى قبله ، فإنك لن تصل أبداً إلى النقطة التى يتحرك فيها الرصيف الأخير بسرعة الضوء بالنسبة للأرض ، حتى ولو كان لديك ملايين منها . وهذا الفرق الضئيل . بالنسبة للسرعات الصغيرة . يتضخم مع تزايد السرعة ، ويجعل سرعة الضوء حداً لا سبيل إلى الوصول إليه . أما كيف يحدث هذا كله ، فهو الموضوع التالى الذى ينبغى أن تتناوله .

www.ibtesama.com/vb

FARES_MASRY
www.ibtesama.com/vb
منتديات مجلة الإبتسامة

www.ibtesama.com/vb

الفصل الرابع
الساعاتُ والمساطرُ

لم يفكر أحد - قبل ظهور النسبية الخاصة - فى أنه من الممكن أن يوجد أى لبس فى العبارة القائلة بأن حادثتين فى مكانين مختلفين قد حدثتا فى وقت واحد . وقد يقبل المرء أنه إذا كان المكانان بعيدين جدا «فقد تكون ثمة صعوبة فى التيقن من أن الحادثتين قد وقعا فى زمن واحد معاً ، بيد أن كل إنسان كان يعتقد أن معنى المسألة محدد تماماً . وأيا كان الأمر ، فقد ظهر فيما بعد أن هذا الاعتقاد خاطىء . فقد تبدو حادثتان فى مكانين متباعدين على أنهما حدثتا فى وقت معا بالنسبة لمشاهد واحد اتخذ جميع الاحتياطات اللازمة ليضمن الدقة (واضعاً فى اعتباره - على وجه الخصوص - سرعة الضوء) ، بينما قد يقدر مشاهد آخر لا يقل عن الأول فى دقته أن الحادثة الأولى قد سبقت الثانية ، وقد يحكم ثالث بأن الحادثة الثانية سبقت الأولى وقد يحدث هذا إذا كان المشاهدون الثلاثة يتحركون بسرعة : لواحد بالنسبة للآخرين . ولن يكون أحدهما - فى هذه الحالة - مصيباً والأثنان الآخران مخطئين ، بل سيكون الثلاثة جميعاً مصيبين . والنظام الزمنى الذى وقعت الحوادث وفقا له يتوقف إلى حد ما على المشاهد . فهو ليس دائماً وبأكمله علاقة باطنية بين الحوادث نفسها . وقد أثبت أينشتين أن هذا الرأى لا يفسر الظواهر

www.ibtesama.com/vb

فحسب ، بل إنه هو أيضا الرأى الذى ينبغى أن ينتج عن التفكير المنطقى الدقيق المؤسس على المعطيات القديمة . ومـهما يكن من أمر ، ففى الواقع الفعلـى ، لم يلحظ أحد الأساس المـنطقى لنظرية النسبـية حـتى أحدثت النتائج الغربية للتجربة صدمة لملكات الناس المفكرة .

كيف نقـرر - تقريراً طبيعـياً - أن حادثتين فى مكانين مـختلفين - وقعتا في وقت واحد ؟ من الطبيعى أن يقول المرء . إنهما وقعتا فى وقت واحد إذا شـاهدهما شخص فى منتصف المـسافة بينها - تقـعان فى وقت واحد (لا صعوبة فى آنية حادثتين وقـعتا فى مكان «واحد» مثل رؤية ضوء وسـماع صـوت) فلنفـترض أن ومـضتـين من الضوء وقـعتـا فى مكانين مختلفين . وليكن هذان المكـانان هما مرصد جرينتش ، ومرصـد كيو . ولنفـترض أن كنيسـة القديس بولس فـى منتصف المسـافة بينهـما ، وأن الومضـتين تظهران فى وقت واحد لمشاهد يـقف على قبة كنيسـة القديس بولس . فى هذه الحـالة ، سوف يرى الرجـل الواقف عند مرصـد كيـو الومضـة الواقعة عند مرصـده ، كما سيـرى الرجل الواقف عند جرينتش الومضـة الساقطة على جرينتش أولا وذلك بسـبب الوقت الذى يستغـرقه الضوء فى الانتقال إلى المسافة القائمـة بينهما . بيد أن الثلاثة - لو كانوا مشاهدين مثاليين فى دقتهم - سيحكمون بأن الومضتين قد حدثتا فى وقت واحد مـعاً ، لأنهم سـوف يدخلون فى اعتـبارهم بالضـرورة زمن إرسال الضوء (إننى أفـترض درجة من الدقة تـتجاوز القدرة الإنسـانية) وهكذا ،

www.ibtesama.com/vb

مـادام الأمـر يتعلق بمشـاهدين على الأرض ، فإن تعـريف الآنية سـيظل صحـيحا ، وما دمنا نتـعامل على حوادث تقع على سطح الأرض ؛ فـهو يعطى نتائج مـتسقة بعـضها مع البعض الآخـر ، ويمكن استخدامـها فى الفيزياء الأرضية بالنسبة لكل المشكلات التى يمكن أن نتجاهـل فيها هـذه الحقيقة ، وهى أن الأرض تدور .

بيد أن تعـريفنا لن يكون مرضـياً حين يكون لدينا مـجموعـتان من المشاهدين فى حـركة سريعة إحداهمـا بالنسبة للأخرى ، فلنـفترض أننا نرى ما يمكن أن يحدث إذا اسـتبدلنا الصوت بالضـوء ، وعرفنا حادثتين بأنهما تقـعان فى آن واحد إذا استمع إليهمـا - فى وقت واحد - شخص فى منتصف المسـافة بينهما . . لن يغـير هذا شيئا من حـيث المبدأ ولكنه يجعل المسـألة أيسر نظراً لسرعة الصـوت التى هى أبطأ كثيراً مـن سرعة الضوء . ودعنا نفـترض أنه فى ليلة ضـبابية أطلـق رجلان ينتمـيان إلى عصابة من قطاع الطرق - النار على الحـارس وعلى سائق القاطرة فى قطار ما : الحارس موجود فى مؤخرة القطار واللصان على الخط الحديدى وهما يطلقان النار على ضـحيتهمـا من مكان قريب . سوف يسمع سيـد عجوز يركب فى منتصف الـقطار الطلقتين فى وقت واحد ، سـيقول حـينئذ إن الطلقتين حدثتا فى وقت واحد مـعا ، غير أن ناظر المحطة الذى يوجد فى منتصف المسافـة بين اللصين يسمع الطلقة التى قـتلت الحارس أولا . وقد ترك مليونير استرالى هو عم الحارس وسـائق القاطرة (وهما أولاد عمومة)

www.ibtesama.com/vb

ثروته كلهـا للحارس أو لسـائق القاهرة - إذا كان هـو لذى مات أولا . وتدخل فى المسألة مبـالغ ضخمة تتوقف على تحديد من منـهما الذى مات أولا . وتذهب القـضية إلى مـجلس اللوردات ويتـفق المحامـون من كلا الطرفين لأنهم تعلمـوا فى أكسفورد على أنه إمـا أن يكون السيد العـجوز راكبا القطار وإمـا أن ناظر المحطة مخطىء . والواقع أن كليهـما قد يكون على صواب تماماً - فالقطار قد تحرك مـبتعداً عن الطلقة التى أطلقت على الحارس وهو متجه صـوب الطلقة التى أطلقت على سائق القاطرة ، ومن ثم فإن الضجـة التى أحدثتها الطلقة التى أطلـقت على الحارس ينبغى أن تمضى قبل أن تصل إلى السـيد العجوز إلى أبعـد من الطلقة التى أطلقت على سائق القاطرة . وبالتـالى فإذا كان العجوز مصيـباً فى قوله إنه سمع الصوتين فى وقت واحـد فلابد أن ناظر المحطة مصيب فى قـوله إنه سمع الطلقة التى أطلقت على الحارس أولا .

ونحن الذين نعـيش على الأرض نفـضل طبعـاً فى مثل هذه الحـالة وجهة النظر الآنية التى يحصل عليها شخص ثابت على الأرض على نظرة شـخص مسـافـر بالقطار . بيد أن الـفيـزياء النظرية لا تـسمح بمثل هذه التحيزات الضيقـة الأفق . وللفيزيائى الموجود ، على سطح شهاب - إذا وجـد - من الحق فى رأيه الخـاص بالآنية مـا للفـيزيائى الموجـود علـى الأرض . بيد أن النتـائج قد تخـتلف بنفس الطريقة التى اخـتلفت به فى مثلنا الذى أوردناه عن القطاع والطلقات ، فليس القطار بأكثـر حقيقية فى

www.ibtesama.com/vb

حـركتـه من الأرض ، بل ليس هناك شـيء حقـيـقى عنه . ويمكنك أن تتخيل أرنـبا وسيد قشطة يتـجادلان عما إذا كـان الإنسان حيوانا ضـخماً «حقـاً» ؛ فـإن كلا منهـما سـيعتـقد أن وجهـة نظره هـى وجهـة النظر الطبيعيـة ، وأن وجهة نظر الآخر مجرد تحليق فى الخـيال وينطوى الجدل عما إذا كانت الأرض أو القطار فى حركة حقاً ، على نفس هذا القدر من التهافت . ومن ثم فإننا حين نعرف الآنية بين حادثتين متباعدتين . فليس لنا الحق فى أن نلتقط وأن نختـار من بين الأجسام المختلفة المستـخدمة فى تحديد نقطة منتصف الطريق بين الحادثتين . فلكل الأجسام حق متساو فى أن يقع عليها الاخـتيار ، ولكن إذا كانت الحـادثتان قد وقعتـا معاً فى آن واحد بالنسبة لجـسم واحد وفقاً للتعريف ، فسـتكون هناك أجسام أخرى تسبق الحادثة الأولى الحادثة الثانية بالنسبـة إليها ، وأجسام أخرى أيضاً تسبق الحادثة الثانية الحادثة الأولى بالنسبة إليها ، وهكذا لا نستطيع أن نقول دون لبس إن حـادثتين فى مكانين متبـاعدين قد وقعـتا فى نفس الوقت . فإن مثل هذه العبارة لا تكتسب مـعنى محدداً إلا بالنسبة لمشاهد محدد ، فهى تنتمى إلى الشطر الذاتى من مـلاحظتنا للظواهر الفيزيائية ، لا إلى الشطر الموضوعى الذى يدخل فى القوانين الفيزيائية .

ولعل هذه المسألة التى تتعلق بالزمان فى أمـاكن مختلفة هى أصعب الجوانب بالنسبة للخيال - فى نظرية الـنسبية ، فنحن قد تعودنا على فكرة أن كل شـىء يمكن تأريـخه - وقـد اسـتغل المؤرخـون واقـعـة حـدوث

www.ibtesama.com/vb

كسوف ظاهر للشمس فى الصين فى ٢٩ أغسطس سنة ٧٧٦ قبل مولد المسيح[(١)] . وليس من شك فى أن الفلكيين يستطيعون أن يحددوا الساعة والدقيقة المضبوطتين اللاتين بدأ فيهما الكسوف فى أن يكون كليا فى أية بقعة محددة من شمال الصين ، كما يبدو من الجلى أننا نستطيع أن نتحدث عن مواقع الكواكب فى أى لحظة . وتمكننا نظرية نيوتن من أن نحسب المسافة بين الأرض والمشترى مثلا فى أى وقت بساعات جرينتش ، وهذا يمكننا من أن نعرف الوقت الذى يقطعه الضوء فى ذلك الحين للانتقال من المشترى إلى الأرض ، وليكن نصف ساعة ، وهذا يمكننا من استنتاج أن المشترى كان منذ نصف ساعة فى المكان الذى نراه فيه الآن . كل هذا يبدو جليا ، ولكنه فى الواقع لا يصدق فى التطبيق إلا لأن سرعات الكواكب النسبية ضئيلة جداً إذا قيست بسرعة الضوء . وحين نقرر أن حادثة على الأرض وحادثة على المشترى قد وقعتا فى وقت واحد - مثل أن يكون المشترى قد كسف واحداً من أقماره حين كانت ساعات جرينتش تشير إلى منتصف الليل - فإن شخصا آخر يتحرك بالنسبة للأرض ، سيقرر شيئاً مختلفاً ، على افتراض أن كلامنا - نحن وهو - قد وضع فى اعتباره سرعة الضوء . ومن الطبيعى أن الخلاف على الآنية يستتبع خلافاً على فترات الزمن . فإذا قررنا أن حادثتين وقعتا على

---

(١) يقول نشيد صينى معاصر لهذا الكسوف ، بعد أن حدد اليوم من السنة بالضبط :

«أما أن ينكسف القمر ،فهذه مسألة عادية . والآن وقد انكسفت الشمس ، فياله من أمر سيىء » (روسل) .

www.ibtesama.com/vb

المشتـرى ينفصلا بأربعـة وعشرين ساعـة ، فقد يحكم شـخص آخر أن الزمن الذى يفصل بينهمـا كان أطول ، هذا إذا كان يتحرك بسـرعة أكبر بالنسبة للمشترى وبالنسبة للأرض .

وهكذا لم يعـد الزمن الكونى الكلى الذى درجنا على أن نأخـذه بلا مناقشة أمراً مسموحاً به فلكل جسم ، نظام زمنى محدد للحوادث التى تقع فى جيـرته ، ومن الممكن أن يسمى هذا الزمـان «الخاص» بهـذا الجسم . وتجربتنا محـكومة بالزمن الخاص لجسمنـا . ولما كنا جميعاً ثابتـين تقريباً على الأرض ، فإن الأزمان الخاصة بالكائنات البشرية المختلفة تتفق ، ومن الممكن جمـعها مـعافى الزمان الأرضـى . بيد أن هذا هو الزمان الوحـيد المناسب للأجـسام «الضـخـمة» على الأرض . فـالأمر يـحتـاج بالنسبـة لجـسيـمات بيتـا (الإلكتـرونيات) فى المعـامل إلى أزمـة مـختلـفـة تمام الاختـلاف ، ولأننا نصـر على استـخدام زمـاننا الخاص ، تبـدو لنا هذه الجسيمـات وقد ازدادت كتلتها مع الحركة السريعـة ، والواقع أن كتلتها - من وجهـة نظرها الخاصـة - تظل ثابتة ، بينما نحـن الذين نصير فـجأة نحافاً أو ضخاما . وتاريخ الفيزياء كما يشاهده جسم من جسيمات بيتا - أشبه برحلات **جليفر** .

ويثار الآن هذا السؤال : مـا الذى تقيسه الساعة حـقًا ؟ حين نتحدث عن ساعـة فى نظرية النسـبيـة لا نقصد الـساعات التـى صنعتـها الأيدى الإنسانية ، وإنما نعنى أى شىء عمـلا دورياً منتظماً . الأرض ساعة لأنها

www.ibtesama.com/vb

تدور مرة واحدة كل ثلاثة وعشرين ساعة وست وخمسين دقيقة . والذرة ساعة ، لأنها ترسل موجات ضوئية ذات ذبذبات محددة ، وهذه الموجات مرئية على صورة خطوط لامعة فى طيف الذرة . والعالم ملىء بالحوادث الدورية ، والآليات الأساسية كالذرات ، تبين تماثل فذاً فى أجزاء الكون المختلفة . ويمكن استخدام أى حادث من هذه الحوادث الدورية لقياس الزمن ، والميزة الوحيدة التى تتمتع بها الساعات المصنوعة بأيد إنسانية هى أنها من السهل مشاهدتها - على وجه الخصوص . ومع ذلك ، فإن بعض الساعات الأخرى أدق كثيراً . ونستخدم فى هذه الأيام الموجات اللاسلكية القصيرة المرسلة تحت ظروف معينة بوساطة ذرات السيريوم وجزئيات الأمونيا (النوشادر) - لإرساء معايير من قياس الزمن أشد تجانساً من المقاييس المؤسسة على دوران الأرض . بيد أن السؤال يظل قائما : إذا تخلينا عن الزمان الكونى ، فما هذا الذى يقاس حقيقة بوساطة «ساعة» بالمعنى الواسع الذى أعطيناه لهذه الكلمة ؟

كل ساعة تعطى قياساً مضبوطاً لزمانها «الخاص» وهذا الزمان كما سنرى فوراً عبارة عن كمية فيزيائية هامة . ولكنها لا تعطى قياساً دقيقاً لأية كمية فيزيائية مرتبطة بالحوادث التى تجرى على أجسام تتحرك حركة سريعة بالنسبة إليها . إنها تعطى معطية واحدة صوب اكتشاف كمية فيزيائية مرتبطة بتلك الحوادث ، ولكننا نحتاج إلى معطية أخرى ، وهذه لابد من استخلاصها من قياس المسافات فى الفضاء . والمسافات فى

www.ibtesama.com/vb

الفضـاء - شأنها فى ذلك شـأن فترات الزمان - ليـست وقائع فيـزيائية موضوعـية - بوجه عام ، ولكنهـا تتوقف إلى حد ما على المـشاهد . أما كيف يحدث هذا ، فأمر ينبغى شرحه الآن .

ينبغى علينا - أولا - أن نفكر فى المسافـة القائمة بين حادثتين ، لا بين جسمين - وهذا يلزم على الفور مما قد وجـدناه فيما يختص بالزمان . فلـو أن جسـمين يتحركان كـل بـالنسبة للآخر - وهذه هى الحـالة دائما حقاً - فإن المـسافة بينهما ستـتغير باستمـرار ، بحيث إننا لا نستطيع أن نتحدث عن المسافة بينهمـا إلا فى وقت معين . وإذا كنت فى قطار مسافر صوب إدنبره ، فإننا نستطيع أن نتـحدث عن المسافة بينك وبين إدنبره فى وقت معين . غـير أن المشاهدين المختلفـين - كما قلنا آنفًا - سيـحكمون حكماً مختلفاً فيمـا يتعلق بنفس الوقت لحادثة وقعت فى القطار ، وحادثة وقعت فى إدنبره ، وهذا يجـعل قياس المسافات نسبـياً بنفس الطريقة التى وجدنـا بها قيـاس الأزمان نسـبيـاً . ونحن نعتـقد عـادة أن هناك نوعين منفصـلين من الأبعاد بين حادثـتين - بعد فى المكان وبعـد الزمان : بين رحـيلك عـن لندن ووصـولك إلـى إدنبـره هناك أربعمـائة مـيل وعشـر ساعات . وقد رأينا فـيما سبق أن مشاهداً آخـر سوف يحكم على الزمان بطريقة مـختلفة ، وأوضـح مـن ذلك أنه سيـحكم على المسافـة حكماً مختلفـاً . وإذا وجد مشاهد على الشـمس فسوف يعتقـد أن حركة القطار تافهة غاية التـفاهة ، وسيقرر أنك قد قطعت المسافـة التى قطعتها الأرض

www.ibtesama.com/vb

فى فلكها ودورانهـا اليومى . ومن وجهـة أخرى ، فإن برغـوثاً فى عربة القطار سيـحكم بأنك لم تتحـرك على الإطلاق فى المكان وإنما سـيحكم بأنك قد أنـحت له فترة من الـلذة سيقـيسـها بزمنه «الخـاص» لا بمرصد جـرينتش . ولا يمكـن أن يـقال إنـك وسـاكـن الشـمس أو البـرغـوث مخطئـون : فلكل منكم مـا يبرر حكمه ، ولـكنه يكون مخطئـاً ، إذا ما أضفى على مقاييسه الذاتية صحـة موضوعية : وعلى هذا ، ليست المسافة فى المكان بين حادثتـين حقيقـة فيزيائـية فى ذاتها . ولكن هناك - كـما سنرى فيما بعد - حقيقة فيزيائية يمكن استنباطها من المسافة فى الزمان مع المسافة فى المكان . وهذا ما يسمى «فاصلا» فى المكان - الزمان .

وإذا أخـذنا أية حـادثتين فى الكون ، وجـدنـا أن هناك إمكانيـتين مختلفتين بالنسبة للعلاقة بينهـما . فقد يكون من الممكن فيزيائياً لجسم ما أن يتـحرك بحـيث يكون حاضـراً بالنسبـة للحادثتين ، أو قـد لا يكون حاضراً بالنسبة إليهما . وهذا يتوقف على حقيقة أنه لا وجود لجسم يمكن أن يتحرك بسرعة الضوء . فلنفترض مثلا أنه من الممكن إرسال ومضة من الضوء من الأرض ، وارتدت ثانيـة بعد أن عكسـها القمـر . (هذه تجربة أجريت فعلا ، ولكن بموجات الرادار التى تتحرك بالسرعة نفسها) فالزمن الذى ينقضى بين إرسال الومضة وعـودة الانعكاس سيكون حوالى ثانيتين ونصف . ولهـذا لا يستطيع جـسم ما أن يتـحرك بسـرعة بحـيث يكون حاضـراً على الأرض خلال أى جزء من هاتين الثـانيتين والنصف ، وأن

www.ibtesama.com/vb

يكون موجوداً على القمر فى لحظة وصول الومضة ، لأنه لكى يفعل ذلك فلابد أن يتحرك الجسم بسرعة أكبر من سرعة الضوء . ولكن من الممكن - نظرياً - أن يوجد جسم على الأرض فى أية لحظة قبل أو بعد هاتين الثانيتين والنصف وأن يكون حاضراً أيضا على القمر فى اللحظة التى وصلت فيها الومضة . وحين يكون من المحال فيزيائياً أن يتحرك جسم ما بحيث يكون حاضراً فى الحادثتين ، فإننا سنقول إن الفاصل[1] بين الحادثتين «مكانى» وحين يكون من الممكن فيزيائياً أن يحضر جسم ما الحادثتين معاً ، فسنقول إن الفاصل بين الحادثتين «زمانى» وحين يكون الفاصل مكانيا ، فإنه من الممكن لجسم ما أن يتحرك بطريقة تسمح لمشاهد موجود فوق الجسم أن يقرر أن الحادثتين وقعتا فى وقت واحد معا . وفى هذه الحالة ، سيكون الفاصل بين الحادثتين هو ما يحكم مثل هذا المشاهد بأنه بالمسافة فى المكان بينهما . وحين يكون الفاصل «زمانياً» فإنه من الممكن لجسم ما أن يكون حاضراً بالنسبة للحادثتين معاً ، وفى هذه الحالة يكون «الفاصل» بين الحادثتين هو ما يحكم المشاهد الموجود فوق الجسم بأنه الزمن المنقضى بينهما أعنى ، أنه زمانه «الخاص» بين الحادثتين . وثمة حالة حدِّية بين الحادثتين حين تكونان جزءين من ومضة ضوء واحدة ، أو إن صح هذا التعبير - حين تكون إحداهما المشاهدة للأخرى ، وفى هذه الحالة يكون الفاصل بين الحادثتين صفراً .

---

(١) سأضع تعريفا لكلمة (فاصل) interval بعد لحظة (رسل) .

www.ibtesama.com/vb

هناك إذن ثلاث حالات :

(١) قد يكون من الممكن لشعاع من الضوء أن يكون حاضراً فى الحادثتين ، وهذا يحدث حينما كان أحدهما مشاهداً للآخر . وفى هذه الحالة يكون الفاصل بين الحادثتين صفراً .

(٢) قد يحدث ألا يستطيع جسم ما أن يتحرك من حادثة إلى أخرى ، لأنه لكى يفعل ذلك ، لابد من أن يتحرك بسرعة أكبر من سرعة الضوء . وفى هذه الحالة ، يكون من الممكن دائماً من الوجهة الفيزيائية أن يتحرك جسم ما بطريقة تسمح لمشاهد على هذا الجسم أن يحكم بأنه المسافة فى المكان بين الحادثتين . مثل هذا الفاصل نسميه «مكانيا» .

(٣) قد يكون من الممكن فيزيائيا لجسم ما أن يتحرك بحيث يكون حاضراً فى الحادثتين ، وفى هذه الحالة سيكون الفاصل بينهما هو ما سيحكم به المشاهد الموجود فوق هذا الجسم على أنه الزمن المنقضى بينهما . مثل هذا الفاصل يسمى «زمانيا» .

والفاصل بين حادثتين حقيقة فيزيائية عنهما ، ولا تتوقف على ظروف المشاهد الخاصة .

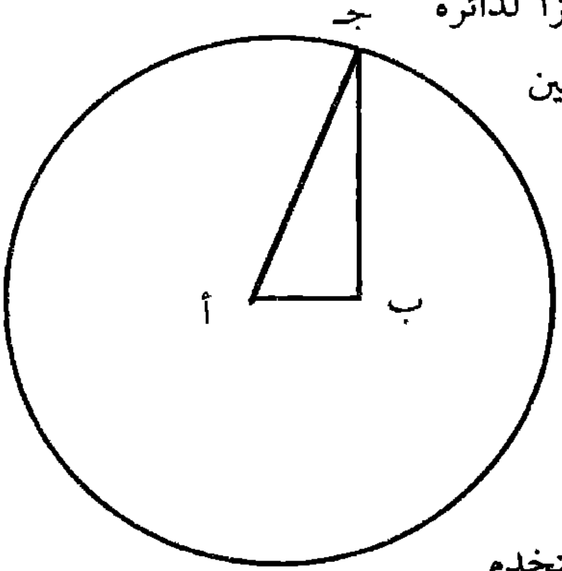
وهناك شكلان لنظرية النسبية ، الشكل الخاص . والشكل العام والشكل الأخير هو بوجه عام تقريبى فحسب ؛ ولكنه يصبح قريباً جدا

www.ibtesama.com/vb

من الضبط فى المسافات البـعيدة عن المادة الجاذبة gravitating matter .

وحيثما أمكن إهمال الجاذبية، أصبح فى الإمكان تطبيق النظرية الخاصة ، وبالتالى ، يمكن حساب الفاصل بين حادثتين حين نعرف المسافة فى المكان والمسافة فى الزمان بينهـما ، وفقاً لتقدير أى مشاهد ، فـإذا كانت المسافة فى المكان أكبر من المسافة التى يمكن أن يقطعها الضوء فى ذلك الوقت ، فإن الانفـصال بينهما يـكون «مكانياً» ويمكن لهذا التـركيب . أن يعطينا «الفاصل» بين الحادثتين .

إرسم خطاً أ ب يكون طوله هو طول المســافة التى يمكن أن يقطعـها الضــوء فى الزمان ، واجـعل أ مركـزاً لدائرة نصف قطرها هو المســافـة فى المكان بين الحـــادثتـين ، ومن نقطـة ب إرسم الخطط ب جـ عمودياً على الخط أ ب بحـيث يلتقى بالدائرة فى جـ فـيكون الخط « ب جـ» هو طول الفاصل بين الحادثتين .



وحين تكون المسافة «زمانية» ، استخدم نفس هذا الشكل ، ولكن اجعل أ جـ هو المسافـة التى يقطعها الضوء فى الزمان على حين يكون أ ب هو المسافة فى المكان بين الحادثتين : فالفاصل بينهما هو الآن الزمن الذى يستغرقه الضوء ليقطع المسافة ب جـ .

www.ibtesama.com/vb

وعلى الرغم من أن « أ ب » و « أ جـ» مخـتلفان بالنسبـة لمشاهدين مختلفين فإن «ب جـ» هو الطول ذاته بالنسبة للمـشاهدين جميعاً ، ولكنه قابل للتصحيحات التى تقوم بها النظرية العامة . فهو يمثل الفاصل الوحيد فى متـصل المكان - الزمان الذى يحل محل الفـاصلين فى المكان والزمان فى الفيزياء القديمة . وقد تبد فكرة «الفاصل» هذه غامضة إلى حد ما حتى الآن ، ولكن ، كلما تقدمنا - بدت أقل غموضاً ، وسيظهر الداعى إليها فى طبيعة الأشياء تدريجياً .

www.ibtesama.com/vb

الفصل الخامس

المكان - زمان

كل من سمع بالنسبية يعرف هذه العبارة متصل «المكان - زمان» ، أو «الزمان» ويعرف أن الشيء الصحيح هو أن يستخدم هذه العبارة محل العبارة القديمة «المكان» و«الزمان» . بيد أن عدداً قليلاً من الناس الذين ليسوا من علماء الرياضة هم أولئك الذين لديهم فكرة واضحة عما يعنيه هذا التغيير فى المصطلح . وقبل أن أتعرض لمزيد من التفصيلات عن نظرية النسبية الخاصة ، أريد أن أنقل إلى القارىء ما تعنيه هذه العبارة الجديدة متصل «المكان - زمان» ، لأنها ، ربما كانت من وجهة النظر الفلسفية والتخيلية - أهم الابتكارات التى جاء بها أينشتين .

فلنفترض أنك تريد أن تقول أين وقعت حادثة معينة ، ولتكن إنفجارا على منطاد - فسوف تذكر أربعة مقادير ، هى خط الطول وخط العرض والارتفاع فوق سطح الأرض والزمان . والمقادير الثلاثة الأولى - وفقاً للنظرية التقليدية - هى التى تحدد الوضع فى المكان ، بينما المقدار الرابع هو الذى يغطى الوضع فى الزمان . ويمكن تحديد المقادير الثلاثة التى تعطى الوضع فى المكان بمختلف الطرق ، فمن الممكن مثلا أن تأخذ مستوى خط الأسواء ، ومستوى خط الزوال فى جرينتش ، ومستوى خط تسعين وتقول أين كان المنطاط من كل من هذه المستويات الثلاث وتكون

www.ibtesama.com/vb

هذه المسافات الثلاث هى ما تسمى «الإحداثيات - الديكارتية» نسبة إلى ديكارت . كما تمكنك أن تأخذ أية ثلاثة مستويات متعامدة كل على الآخر . فيكون لديك دائماً «الأحداثيات الديكارتية . أو قد تستطيع أن تأخذ المسافة من لندن إلى أية نقطة رأسية تحت المنطاد ، واتجاه هذه المسافة (شمال شرقى ، أو غربى ، جنوب غربى أو أى شيء كان) وارتفاع المنطاد عن الأرض . فهناك عدد لا نهائى من مثل هذه الطرق لتحديد الوضع فى المكان ، وكلها طرق مشروعة على حد سواء ، واختيار إحداها سيكون لمجرد إيثار السهولة .

وحين كان الناس يقولون إن للمكان ثلاثة أبعاد ، فقد كانوا يعنون هذا بالضبط : أن ثلاثة مقادير لازمة لتخصيص موقع نقطة ما فى المكان ، أم المنهج الخاص بتحديد هذه المقادير فكان تحكيماً تماماً .

أما فيما يتعلق بالزمان ، فقد كان من المعتقد أن هذه المسألة مختلفة تمام الاختلاف . ذلك أن العناصر التحكمية الوحيدة فى تسجيل قياس الزمان كانت هى الوحدة ، ونقطة الزمان التى بدأ منها التقدير : Reekening ، فمن الممكن أن يقيس المرء بتوقيت باريس ، أو بتوقيت نيويورك ، وهذا موضع اختلاف بالنسبة لنقطة البداية . وكذلك يستطيع المرء أن يقيس الوقت بالثوانى أو الدقائق أو الساعات أو الأيام أو الأعوام وهذا اختلاف فى الوحدة . وهاتان مسألتان واضحتان وتافهتان فى الوقت

www.ibtesama.com/vb

نفسه . فليس هناك ما يقابل حرية الاختيار في منهج تحديد الوضع في المكان . وكان من المعتقد - على وجه الخصوص - أن منهج تحديد الوضع في المكان ومنهج الوضع في الزمان - يمكن أن يكونا مستقلين أحدهما عن الآخر استقلالا تاماً . ولهذا الأسباب كان الناس ينظرون إلى الزمان والمكان على أنهما متمايزان تمام التمايز .

وقامت نظرية النسبية بتغيير هذا الرأى . فثمة الآن عدد من الطرق المختلفة لتحديد الوضع في الزمان ، وهذه الطرق لا تختلف فيما بينها من حيث الوحدة ونقطة البداية فحسب . فالحق أنه - إذا كانت حادثة قد وقعت في نفس الوقت معه حادثة أخرى - كما سبق أن رأينا - في تقدير زمانى ، فإنها ستسبقها في تقدير آخر ، وستتبعها في تقدير ثالث . وفضلا عن ذلك فإن تقديرات المكان والزمان لم تعد مستقلة الواحد عن الآخر . وإذا أنت غيرت طريقة تقدير الوضع في المكان ، فقد تستطيع أيضاً أن تغير الفترة الزمنية بين حادثتين . وإذا أنت غيرت طريقة تقدير الزمان ، فإنك تستطيع أيضاً أن تغير المسافة في المكان بين حادثتين . وهكذا لم يعد المكان والزمان مستقلين أحدهما عن الآخر ، شأنهما في ذلك شأن أبعاد المكان الثلاثة . ونحن ما نزال في حاجة إلى أربعة مقادير لتحديد وضع حادثة ما ، ولكننا لا نستطيع - كما كان الحال من قبل - أن نفصل واحداً من هذه المقادير الأربعة بوصفه مستقلا تمام الاستقلال عن المقادير الثلاثة الأخرى .

www.ibtesama.com/vb

ولم يعد من الصدق تماما أن تقول إنه لم يعد تمييز بين الزمان والمكان . فهناك كما رأينا فواصل «زمانية» و«فواصل» مكانية بيد أن التمييز من نوع يختلف عما افترضناه سابقاً . فلم يعد هناك وقت كلى universal يمكن تطبيقه بلا لبس على أى جزء من أجزاء العالم ، وإنما توجد فحسب «أزمنة» خاصة مختلفة لأجسام متباينة فى الكون . ويتفق بالتقريب بالنسبة لجسمين لا يتحركان حركة سريعة ، ولكنه لا يتفق بالضبط مطلقاً إلا بالنسبة لجسمين يكونان ساكنين الواحد بالنسبة إلى الأخر .

وصورة العالم المطلوبة فى مثل هذه الأحوال الجديدة هى كالآتى :

فلنفترض أن حادثة «د» قد وقعت لى ، وفى الوقت نفسه انبعثت منى ومضة من الضوء فى جميع الاتجاهات . فأى شىء يحدث لأى جسم بعد أن بلغه الضوء من الومضة ، يكون بالتحديد بعد وقوع الحادث «د» فى أى نظام لتقدير الوقت . وأية حادثة وقعت فى أى مكان وأستطيع أن أشاهدها قبل أن تقع لى الحادثة « د » هى بالتحديد قد وقعت قبل الحادثة « د » فى أى نظام لتسجيل الوقت بيد أن أية حادثة وقعت فى الوقت المنقضى بينهما ليست بالتحديد قبل أو بعد الحادثة «د» . ولكى تحدد المسألة: افترض أننى أستطيع أن أشاهد شخصاً فى الشعرى اليمانية ، وأنه يستطيع أن يشاهدنى ، فكل ما يفعله ، وما أراه قبل أن تقع الحادثة

www.ibtesama.com/vb

« د » لى ، هو بالتحديد قبل « د » . وكل ما يفعله بعد أن شاهد الحادثة « د » هو بالتحديد بعد «د». غير أن كل ما يفعله يكون قبل أن يرى الحادثة «د» ولكننى أراه أنا بعد أن وقعت الحادثة « د » ليس بالتحديد قبل أو بعد « د » هو بالتحديد بعد «د» . غير أن كل ما يفعله يكون قبل أن يرى الحادثة «د» وما دام الضوء يستغرق سنين طويلة لينتقل من الشعرى اليمانية إلى الأرض ، فإن هذا يعطى فترة من الأعوام ضعف الوقت فى الشعرى اليمانية يمكن أن نسميها «معاصرة» للحادثة « د » ما دامت هذه السنين ليست بالتحديد قبل أو بعد « د » .

ولقد اقترح الدكتور أ. أ. روب A. A. Robb فى كتابه «نظرية المكان والزمان» وجهة نظر . قد تكون - وقد لا تكون - أساسية من الوجهة الفلسفية ، ولكنها تساعد على أية حال - فى فهم حالة الأشياء التى وصفناها آنفاً . فقد ذهب إلى أنه من الممكن فحسب القول بأن حادثه ما قد وقعت بالتحديد «قبل» حادثة أخرى ، إذا أثرت على هذه الحادثة بطريقة ما . والآن : تنتشر المؤثرات من المركز بسرعات متفاوتة . وتمارس الصحف تأثيرا ينبعث من لندن بسرعة متوسطة مقدارها حوالى عشرين ميلا فى الساعة . وقد تكون أكثر من ذلك بالنسبة للمسافات الطويلة . وكل ما يفعله إنسان ما بسبب ما قرأه فى الصحيفة هو بكل وضوح نال على طبع الصحيفة . والأصوات تتحرك أسرع من ذلك كثيراً : ومن الممكن ترتيب مجموعة من مكبرات الأصوات على طول الطرق الرئيسية ، على أن يذيع كل منها أخبار الصحف للمكبر الذى يليه. بيد أن البرق (التلغراف) أسرع ، والبرق اللاسلكى ينتقل بسرعة

www.ibtesama.com/vb

الضـوء . ولـهذا لا يمكـن للمرء أن يأمل فـيـما هو أسـرع مـن ذلك . والآن، ما يفعله إنسـان نتيجة لتلقيـه برقية لاسلكية يفـعله «بعد» إرسال البرقية ، والمعنى هنا مستقل تمام الاستـقلال عن المواصفات بالنسبة لقياس الزمن . بيد أن كل ما يفعله في الوقت الذى تكون فيه البرقية فى طريقها إليه ، لا يمكن أن يتأثر بإرسال البـرقية ، ولا يمكن أن يؤثر على الراسل إلا بعد انقضاء وقت قصير بعد أن أرسل البرقية ، أعنى أنه إذا كان هناك جسمان منفصـلان انفصالا بعيـداً ، فإن أحدهمـا لا يستطيع أن يؤثر فى الآخر إلا بعد مرور فـترة معينة من الوقت ، وما يحدث قـبل انقضاء هذا الوقت لا يمكن أن يؤثر على الجسم البعيـدة . فلنفرض أن حادثاً هاماً قد وقع الشمـس : فهناك فتـرة من الزمن مقـدارها ست عشـرة دقيـقة على الأرض لا تتـأثر خلالهـا أية حادثة على الأرض أو يمكن أن تتـأثر بتلك الحادثة الـهامة المذكـورة التى وقعت على الشـمس ، وهذا يمنحنا أسـاساً جوهرياً للنظر إلـى فترة الست عشـرة دقيقـة المنقضيـة على الأرض بأنها ليست قبل أو بعد الحادثة التى وقعت على الشمس .

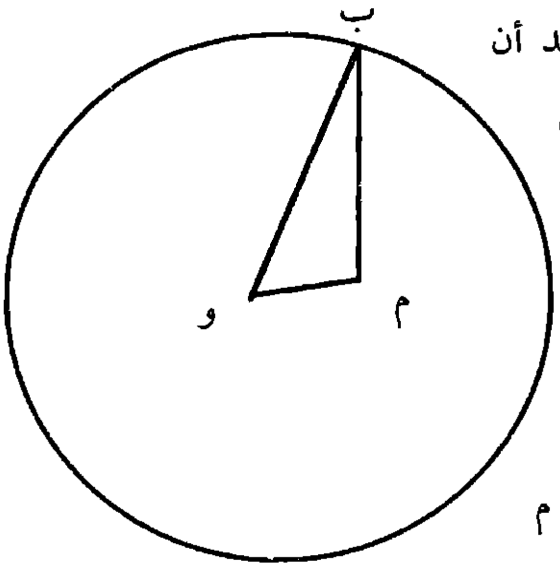
ومفارقـات نظرية النسبية الخـاصة ليست مفـارقات إلا لأننا لم نألف وجهة النظر هذه ، وإلا لأننا اعتدنا أن نأخذ الأشياء كما هى ، على حين أننا لا نملك الحق فى أن نفعل ذلك . وهذا يصدق - بوجه خاص - فيما يتعلق بقـياس الأطوال . ففى للحيـاة اليوميـة . الطريقة التى نتبعـها فى قياس الأطوال هى أن نسـتخدم مسطرة أو أى مقـياس آخر . وفى اللحظة

www.ibtesama.com/vb

التى نستعمل فيها المسطرة فإنها تكون ساكنة بالنسبة للجسم الذى نقيسه . وبالتالى فإن الطول الذى نصل إليه بالقياس هو الطول «المناسب» أعنى الطول كما يقدره مشاهد يشارك فى حركة الجسم . ولم نتعرض قط فى حياتنا العادية ، لمشكلة قياس جسم فى حركة مستمرة . وحتى لو فعلنا ذلك ، فإن سرعات الأجسام المرئية على الأرض ضئيلة بالنسبة للأرض إلى درجة لا تظهر معها الشذوذات التى تعالجها النظرية النسبية . بيد أننا فى الفلك ، أو فى البحث الخاص بالتركيب الذرى ، تواجهنا مشكلات لا يمكن علاجها بهذه الطريقة . ولأننا لسنا يوشع . فإننا لا نستطيع أن نوقف الشمس أثناء قياسنا لها ، وإذا كان علينا أن نقدر حجمها ، فلابد أن نفعل ذلك أثناء حركتها بالنسبة إلينا . وكذلك إذا أردت أن تقدر حجم إلكترون فلابد أن تفعل ذلك أثناء حركته السريعة لأنه لا يقف ساكناً لحظة واحدة أبداً ، وهذا هو نوع المشكلة الذى تعنى به نظرية النسبية . والقياس بمسطرة ، حين يكون ذلك ممكناً ، يعطى دائماً نفس النتيجة ، لأنه يعطى الطول «المناسب» للجسم ، ولكن ، حين لا يكون هذا المنهج ممكناً ، فإننا نجد أن أشياء عجيبة تحدث ، وخاصة إذا كان الجسم المطلوبة قياسه يتحرك بسرعة كبيرة بالنسبة للمشاهد ، وقد يساعدنا شكل شبيه بالشكل الموجود فى نهاية الفصل السابق على فهم هذه الأحوال .

www.ibtesama.com/vb

فلنفـرض أن الجـــسم الذى نريد أن نقيس أطواله يتـحرك بالنسـبة إلينا ، وأنه فـى ثانية واحدة يتـحرك المسافة « و م » . فلنرسم دائرة حول « و » يكون نصف قطرها هو المســافة التى يقطعـها الضوء فى ثانـية ومن «م » أقم الخط « ب » عـــمـــودياً على و م ويلتقى بالدائرة فى ب . وهكذا تكون و ب هى المسافة التى يقطعها الضوء فى ثانية .



وتكون نسبة « و ب » إلى « و م » هى نسبة سرعة الضوء إلى سرعة الجسم . ونسبة و ب إلى م ب هى النسبـة التى تتغير بها الأطوال الظاهرة نتيجة للحركة ، أى أنه إذا حكم المشاهد بأن نقطتين فى خط الحركة على الجسم المتحرك يبـعدان بمسافة يمثلها الخط م ب ، فإن شخـصاً يتحرك مع الجسم سيحكم بأنهما كانتا علـى مسافة يمثلها (علـى نفـس المستوى) الخط و ب . ولا تتأثر بالحركات المسافـات الموجودة على الجسم المتحرك والتى تكون على زوايا قائمة بالنسبة لخط الحـركة . والمسألة كلها تبادلية أى إنه إذا قام مـشاهد يتـحرك مع الجـسم بقيـاس الأطوال الموجودة على جـسم المشاهد السابق ، فإنهـا تتغير بنفس النسبة . وحين يتحـرك جسمان كل منهما بالنسـبة إلى الآخر ، فإن أطوال كل منهما تبـدو أقصر إلى الآخر

www.ibtesama.com/vb

منها إلى نفسها . وهذه هى نظرية فتزجيرالد فى التقلص التى اخترعها ليفسر نتيجة تجربة ميكلسون - مورلى ، ولكنها تظهر الآن بصورة طبيعية من هذه الحقيقة وهى أن المشاهدين لا يحكمان حكماً واحداً على الآنية .

والطريقة التى تتدخل بها الآنية هى هذه : نحن نقول إن نقطتين على جسم ما يبعدان مسافة قدم حين نستطيع أن نستخدم طرف مسطرة على نقطة وطرفها الآخر على النقطة الأخرى - وفى وقت واحد معاً . فإذا لم يتفق شخصان على الآنية ، ويكون الجسم فى حركة ، فمن الواضح أنهما سيحصلان على نتائج مختلفة من قياساتهما . وهكذا تكمن المتاعب الخاصة بالزمان فى أعماق المتاعب الخاصة بالمكان .

ونسبة و ب إلى م ب هى الشىء الجوهرى فى هذه المسائل جميعاً . فالأزمنة والأطوال والكتل تتغير كلها بهذه النسبة حين يكون الجسم المعنى فى حركة بالنسبة للمشاهد . وسيكون من المشاهد أنه إذا كانت « و م » أصغر كثيراً من « و ب » أى أن الجسم المتحرك أبطأ كثيراً من سرعة الضوء ، فإن « م ب » «و ب» سيكونان متساويين تقريباً . بحيث التعديلات التى تحدثها الحركة ستكون ضئيلة جداً . ولكن إذا كان « و م» يكاد يكون طويلا طول « و ب » ، أى إذا كان الجسم يتحرك بسرعة أقرب إلى سرعة الضوء ، فإن م ب يصبح قصيراً جداً إذا قيس بالخط وب ، وتصبح التأثيرات عظيمة جداً . وقد لوحظت الزيادة الظاهرة فى الكتلة بالنسبة للجزئيات المتحركة حركة سريعة جداً ، كما أمكن العثور

www.ibtesama.com/vb

على المعادلة الصحيحة ، قبل أن يخترع أينشتين نظريته الخاصة فى النسبية والواقع ، أن «لورنتس» توصل إلى المعادلات المسماة بتحويل لورنتس ، وهى المعادلات التى تتضمن الجوهر الرياضى كله لنظرية النسبية الخاصة . غير أن أينشتين هو الذى أثبت أن المسألة كلها هى ما ينبغى أن ننتظره ، لا مجرد مجموعة من الحيل التى تفسر النتائج التجريبية العجيبة . ومع ذلك ، ينبغى ألا ننسى أن النتائج التجريبية هى الدافع الأصلى للنظرية كلها ، وأنها ظلت الأساس للقيام بإعادة البناء المنطقى الهائل الذى تطلبته نظريات أينشتين .

نستطيع الآن أن نلخص الأسباب التى جعلت من الضرورى إحلال عبارة متصل «المكان - زمان» بدلا من «المكان والزمان» ، فالفصل القديم بين المكان والزمان يقوم على اعتقاد بأنه لا لبس هناك فى أن نقول إن حادثتين فى مكانين متباعدين قد وقعتا فى زمن واحد بعينه ، وبالتالى كان من المعتقد أننا نستطيع وصف «طبوغرافية» (وضع) الكون فى لحظة معينة بمصطلحات مكانية بحتة . ولكن بعد أن أصبحت الآنية منسوبة إلى مشاهد معين ، لم يعد ذلك ممكناً . فما يعده مشاهد ما وصفاً لحالة العالم فى لحظة معينة . هو بالنسبة مشاهد آخر سلسلة من الحوادث وقعت فى أزمنة مختلفة ، وليست علاقاتها مكانية فحسب ، بل زمانية أيضاً . ولهذا السبب نفسه ، نحن معنيون بالحوادث ، لا بالأجسام . وقد كان من الممكن فى النظرية القديمة النظر إلى عدد من الأجسام ، كلها فى نفس

www.ibtesama.com/vb

اللحظة ، وما دام الزمان واحداً بالنسبة إليها جميعاً ، فمن الممكن تجاهله . أما الآن «فإننا لا نستطيع أن نفعل ذلك إذا أردنا الحصول على تفسير موضوعى للوقائع الفيزيائية . فلابد أن نذكر التاريخ الذى ننظر فيه إلى الجسم ، وبهذا نصل إلى «حادثة» ، أى إلى شىء يحدث فى زمن معين ، وحين نعرف زمان ومكان حادثة ما فى نظام تسجيل لمشاهد فإننا نستطيع أن نحسب زمانها ومكانها وفقاً لمشاهد آخر . بيد أن ينبغى علينا أن نعرف الزمان والمكان أيضاً لأننا لم بعد نستطيع أن نسأل ما هو مكانها بالنسبة للمشاهد الجديد فى «نفس» الوقت بالنسبة للمشاهد القديم . وليس هذا شيئاً كنفس الزمان بالنسبة للمشاهدين المختلفين ، اللهم إلا إذا كانوا ثابتين الواحد بالنسبة للآخر . ونحن نحتاج إلى أربعة قياسات لتحديد وضع ما ، وأربعة قياسات تحدد وضع حادثة ما فى متصل «المكان زمان» لا مجرد جسم فى المكان . ولا تكفى ثلاثة قياسات لتحديد أى وضع . هذا هو جوهر ما نعنيه باستبدال متصل «المكان - زمان» بالمكان والزمان .

www.ibtesama.com/vb

FARES_MASRY
www.ibtesama.com/vb
منتديات مجلة الإبتسامة

www.ibtesama.com/vb

الفصل السادس

نظرية النسبية الخاصة

قامت نظرية النسبية الخاصة بوصفها طريقة لتفسير وقائع الكهرومغناطيسية . ولدينا فى هذا المجال تاريخ عجيب . ففى القرن الثامن عشر ، وأوائل القرن التاسع عشر ، كانت نظرية الكهرباء تسودها المماثلة النيوتينية سيادة تامة . فالشحنتان الكهربائيتان تجذب إحداهما الأخرى إذا كانت كل منهما من نوع مختلف ، أى حين تكون إحداهما موجبة ، والأخرى سالبة ، ولكنهما تتنافران إذا كانتا من نفس النوع . وفى كل حالة ، تختلف القوة وفقاً لعكس مربع المسافة ، كما هى الحال فى الجاذبية . وكانت هذه القوة متصورة على أنها فعل عن بعد ، حتى أثبت فاراداى بعدد من التجارب البارعة - تأثير الوسط بينهما . ولم يكن فاراداى عالم رياضة ، وكان كلارك مكسويل هو أول من أعطى شكلا رياضيا للنتائج التى توحى بها تجارب فاراداى . وفضلا عن ذلك ، أعطى كلارك مكسويل أسسا للتفكير بأن الضوء ظاهرة كهرومغناطيسية تتألف من موجات كهرومغناطيسية . ومن الممكن إذن أن يؤخذ الوسط الذى تنتقل فيه المؤثرات الكهرومغناطيسية على أنه الأثير ، الذى افترض منذ عهد بعيد على أنه المجال الذى ينتقل فيه الضوء وثبتت صحة نظرية مكسويل عن الضوء بوساطة تجارب «هرتس» فى إنتاج موجات

www.ibtesama.com/vb

كهرومغناطيسية ، ووضعت هذه التجارب أساس التلغراف اللاسلكى . وإن هنا ، لدينا سجل حافل بالتقدم الظاهر . تتبادل فيه النظرية والتجربة دور الزعامة . وكان يبدو أن الأثير فى العصر الذى قام فيه هرتس بتجاربه - قد استقر مطمئناً ، وأصبح فى مركز قوى كأى فرض علمى آخر لا سبيل إلى التحقق من صدقه تحققاً مباشراً بيد أن مجموعة جديدة من الوقائع بدأت تكشف ، وأخذت الصورة تتغير تدريجياً جملة وتفصيلاً .

كانت الحركة التى بلغت ذروتها بهرتس حركة تريد أن تجعل كل شىء متصلا : الأثير متصل ، والموجات متصلة ، وكان من المأمول أن تكون المادة مكونة من تركيب متصل فى الأثير . ولكن جاء اكتشاف التركيب الذرى للمادة ، بل التركيب المنفصل للذرات نفسها وكان من المعتقد أن الذرات مكونة من الإلكترونات والبروتونات والنيوتونات . والإلكترون عبارة عن جزىء صغير يحمل شحنة محددة من الكهرباء السالبة ، أما البروتون فيحمل شحنة محددة من الكهرباء الموجبة ، بينما لا يحمل النيوترون أية شحنة (إنها مسألة عادة فحسب أن تسمى الشحنة التى يحملها الإلكترون سالبة والشحنة التى يحملها البروتون موجبة لا العكس) ، وكان يبدو محتملا أن الكهرباء لا توجد إلا على هيئة شحنات على الالكترون والبروتون ، وتحمل الالكترونات جميعاً نفس الشحنة السالبة تماماً ، واكتشفت فيما بعد جسيمات ثانوية ذرية أخرى ، ويسمى

www.ibtesama.com/vb

معظمها ميـزونات أو هيبيرونات hyperons . وتزن البروتونات جمـيعاً وزناً واحـداً بالضـبط ، فهـى حوالى ١٨٠٠ ضـعف وزن الالكتـرون . وكذلك تزن النيوتـرونات جميعاً نفس الوزن بالضـبط ، وهى أقل قليلا من البروتونات . أما الميزونات التى يوجد منهـا عدة أنواع مختلفة ، فهى أثقل من الالـكتـرونـات ، ولكنهـا أخف من البـروتونات ، بينمـا الهيبيرونات أثقل من البروتونات أو النيوترونات .

تحمل بعض الجسـيمات شحنات كهربائية . بيـنما لا تحمل الأخرى أية شحنات وقد وجد أن الجسيمات التى تحمل شحنات موجبة تحمل نفس الشحنة التى يحملها البروتون، بينما تحـمل كل الجسيمات المحملة بشحنة سالبة نفس الشحنة التى يحملها الالكترون ، على الرغم من أنها تختلف فى صفـاتها الأخرى تمام الاختـلاف . ومما يزيد المسألة تعقـيداً أن هناك جسيما يماثل الالكترون ، ولا يختلف عنه إلا فى أنه يحمل شحنة موجبة بدلا من شحنة سالبة ، ويسمى البوزيترون positron وقد اكتشف حديثاً جـداً جسـيم يماثل البروتـون ، وكل الفرق بينهـما هو أنه يحمـل شحنة سالبة ، وقد أطلق عليه إسم «البروتون – المضاد» anti - proton .

ولا تنفـصل هذه الكشوف عن التـركيـب المنفصل للمـادة عن تلك الكشوف المسماة بظاهرة الكم quantum phenomena كالخطوط اللامعة فى طيف الذرة ويبدو أن جـميع العمليات الطبـيعية تكشف عن انـفصال أساسى حيثما أمكن قياسها بدقة كافية .

www.ibtesama.com/vb

وهكذا كــان على الفيــزياء أن تهضم حـقائق جديـدة ، وأن تواجه مشكلات جـديدة ، وعلى الرغم من أن نظرية الكم قد وجدت بصـورتها الحالية ثلاثين عامـاً ، ووجدت نظرية النسبية الخاصة خمـسين عاماً ، فإن التقدم الجوهرى فى الربط بينهما لم يتم إلا فى وقت حديث جداً وجعلت التطورات الحديثـة فى نظرية الكم أكثر اتسـاقاً مع النسبيـة ، وأعانتنا هذه التحـسينات على فهم الجسـيمات الذرية الثـانوية إلى حد كبيـر ، بيد أن كثيراً من الصعوبات الخطيرة ما برحت قائمة .

ولقد انطبعت المشكلات التى حلت بوساطة نظرية النسبية الخاصة فى مجالها الخاص، بمعزل عن نظرية الكم، بطابع تجربة ميكلسون - مورلى ، وعلى افتراض صحة نظرية مكسويل فى الكهـرومغناطيسية ، كان لابد من ظهور مـؤثرات مكتشفة مـعينة للحركة خـلال الأثير ، والواقع ، أنه لم توجد أية مؤثرات ثم جاءت هذه الحقيقة الملحوظة وهى أن الجسم المتحرك حركة سريعة جداً يبدو أن كتلته تزداد ، والزيادة تكون بنسبة «و ب» إلى «م ب» فى الشكل الموجود فى الفصل الســابق . وتراكمت حقائق من هذا النوع تدريجـياً حتى أصـبح من الضرورى العـثور على نظرية تفـسر هذه الحقائق جميعاً .

وقد حولت نظرية مكســويل نفسها إلى معادلات مـعينة تعرب بإسم «معادلات مكســويل» . ولقد ظلت هذه المعادلات صامدة فى وجـه جميع الثورات التى اجتاحت الفيزيـاء فى القرن الأخير ، والحق أنها قد ازدادت

www.ibtesama.com/vb

أهميـة ، كمـا ازدادت يقيناً ، ذلك أن حـجج مكسويل لـتأييدهـا كانت مهزوزة إلى درجة لابد معها من إرجاع صحة نتائجه إلى «الحدس» -intui tion . وقـد أمكن الحـصـول على هذه المعـادلات بالطبع ، من تجـارب أجريت فى معامل أرضية ، بيد أنه كـان هناك افتراض ضمنى بأن حركة الأرض خلال الأثير يمكن تجاهلها ، وفى بعض الحالات - كما هى الحال فى تجربـة ميكلسـون مورلى - لم يكن هذا ممكناً ، إلا بوقـوع خطأ يمكن قياسـه ، غير أن الأمر تكشف عن أن ذلك من الممكن دائمـاً ، وقد وجه الفيـزيائيون بصعوبة غـريبة هى أن معادلات مكسـويل أدق مما ينبغى أن تكون عليه وقد شرح جاليليو صعـوبة مماثلة لهذه الصعوبة أشد المماثلة فى مستـهل الفيزياء الحديثـة ، فمعظم الناس يعتـقدون أنك إذا أدركت ثقلا يسقط ، فـإنه يسقط عمـودياً . ولكن ، لو أنك قمت بهذه التـجربة فى قمرة سفـينة متحركة ، فإن الثـقل يسقط بالنسبة للقمرة ، وكـأن السفينة ثابتة ، أى أنه لو بـدأ - مثلا - من منتـصف السقف فـإنه يسقط وسط الأرضية ، وهذا مـعناه أنه من وجهة نظر مشاهد عـلى الشاطىء لا يسقط عمودياً ، مادام يشـارك السفينة فى حركتها . وطالما كانت حـركة السفينة منتظمة ، فإن كل ما يحدث داخل السفينة يحدث كما لو كانت السفينة لا تتحـرك ، وقد فـسر جاليليـو كيف يحـدث هذا مما أثار استنكار تلامـيذ أرسطو الشديد ، وفى الفـيزياء التقليـدية - المستمدة من جـاليليو ، ليس للحركة المتـجانسة فى خط مستقـيم تأثيرات يمكن استكشافهـا . وقد كان ذلك - فى يومها - شكلا باعثا على الدهشة من النسبـية كما كانت نسبية

www.ibtesama.com/vb

أينشتين بالنسبة إلينا . وقد شرع أينشتين فى نظرية النسبية الخاصة فى العمل ليبين كيف يمكن ألا تتأثر الظواهر الكهرومغناطيسية بالحركة المنظمة خلال الأثير - إذا كان ثم أثير . وهذه مشكلة أشد صعوبة ، مشكلة لا سبيل إلى حلها بمجرد اعتناق مبادىء جاليليو .

وقد كان المجهود العسير الذى يتطلبه حل هذه المشكلة ، يتعلق بالزمان ، إذ كان من الضرورى إدخال فكرة الزمان «الخاص» التى تناولناها آنفا ، وأن نتخلى عن الاعتقاد القديم فى زمان كلى واحد . وقد تم التعبير عن القوانين الكمية للظواهر الكهرومغناطيسية فى معادلات مكسويل وقد وجد أن هذه المعادلات صادقة بالنسبة لأى مشاهد ، أيا كان متحرك . وأنها لجد مشكلة رياضية صرفة أن نكتشف ما هى الفروق التى ينبغى أن تكون بين المقاييس التى يستخدمها مشاهد ، والمقاييس التى يستخدمها آخر ، إذا وجدا - أنه على الرغم من حركتهما الواحد بالنسبة للآخر - نفس المعادلات وقد تحقق صدقها . والحل متضمن فى «تحويل لورنتس» الذى وجده لورنتس بوصفه معادلة ، ولكنه فسر ، ووضح بوساطة أينشتين .

ويخبرنا تحويل لورنتس : ما هو تقدير المسافات ومدد الزمان التى يمكن أن يقوم بهما مشاهد معروفة حركته النسبية ، عندما تعطى لنا المسافات والفترات الزمانية لمشاهد آخر . فلنفترض أنك فى قطار يسير على خط حديدى ويتجه شرقاً ، وقد ظللت مسافراً فترة من الزمن ،

www.ibtesama.com/vb

قدرتـه ساعـات المحطة التى بدأت منها ب « ز » وعلى مـسافـة « م » من نقطة بدايتك - كما قـام بقياسها الأشـخاص الموجودون على الخط - وقع حـادث فى هذه اللحظة ولتكـن هذه الحادثة أن الـبرق قـد أصـاب الخط الحديدى . وقـد كنت مسافـراً طيلة الوقت بسرعـة متجـانسة هى «س» . والسؤال هو : على أى بعـد منك ستحكم بأن الحادثة قـد وقعت ، وبعد أى زمن من شروعك فى السفر ستكون بوسـاطة ساعتك ، على افتراض أن ساعتك مضبوطة ، من وجهة نظر مشاهد على القطار ؟

وعلى حلنا لهذه المشكلة أن يفى بشروط معينة . فعليه أن يظهر هذه النتيـجة وهى أى سرعة الضـوء واحدة بالنسبة للمـشاهدين جميـعاً ، أياً كانت حـركتهم . وعليـه أن يجعل الظواهر الفيـزيائية - وعلى الأخص ظواهر الكهـرومغناطيـسيـة تخضع لنفس القـوانين بالنسبـة للمشـاهدين المختـلفين ، مهـما وجـدوا أن مـقاييـسهم للمـسافـات والأزمنة متـأثـرة بحركتهم . وعليه أن يجد مثل هذه المؤثرات جميعاً على القياس متبادلة ، أى أنك لو كنت فى قطار ، كانت حركتك تؤثر على تـقديرك للمسافات خارج القطار ، فـلابد أن يكون هناك تغيـير مماثل تماما فى التـقدير الذى يقوم به الأشخـاص خارج القطار للمسافات داخله . وهذه الشـروط كافية لتحديد حل المشكلـة . غير أن منهج الحصول على الحل لا يمكن تفـسيره إلا بمزيد من الرياضة لا يتيحه الكتاب الحالى .

www.ibtesama.com/vb

وقـبل أن نتناول المسـألة فى عـبارات عـامـة ، دعنا نأخـذ مثـلا : فلنفترض أنك فى قطار علـى خط حديدى مستقيم طويل ، وأنك مـسافر صوب الشرق بسرعة تعادل ثلاثة أخمـاس سرعة الضوء . فلنفترض أنك قست طول قطارك ، فـوجدت أنه مـائة ياردة ، ولنفترض أن الأشـخاص الذين يدركون منك لمحة أثناء عبورك ، ينجـحون بوساطة المناهج العلمية البارعة فى تسجيل مشـاهدات تمكنهم من حساب طول قطارك ، وإذا قاموا بعملهم قيامـاً صحيحاً ، فإنهم سيجـدون أن هذا الطول عبارة عن ثمانين ياردة . إذ سيبـدو لهم كل ما فى القطار أقصر فى اتجاه القطار عـما يبدو لك ، وستـبدو أطباق المـائدة التى تراها على أنها أطبـاق دائرية عادية - ستبـدو للمشاهد الخارجـى وكأنها بيضـاوية : ستبدو فى أربعـة أخماس عرضـها فحـسب فى الاتجاه الذى يتحـرك فيه الـقطار كما تبـدو فى اتجاه عرض القطار ، وكل هـذا تبادلى . فلنفتـرض أنك تشاهد خـارج النافذة رجلا يحمل قـضيبا لصيد السـمك ، يبلغ طوله بقياسه هو خمـسة عشر قدماً ، فلو أنه كان يمسكه عـموديا مستقيما ، فـسوف تراه كما يراه هو ، وستراه أيضـا كذلك إذا كان يمسك به أفقـيا ولكنه متعـامد مع القطار ، ولكن إذا كان يشـير به إلى الخط الحـديدى ، فسيـبدو لك أن طوله ١٢ قدما فحسب ، ذلك أن جميع الأطوال فى اتجاه الحركة تنقص بنسبة ٢٠٪ سـواء بالنسـبـة لأولئك الذين ينظـرون إلى داخل القطار من الخـارج أو بالنسبة لمن ينظر إلى خارج القطار من الداخل .

www.ibtesama.com/vb

بيد أن الآثار المتعلقة بالزمان أعـجب من ذلك . وقد شرح إدنجتون هذه المسألة فى كتابه «المكان والزمان والجاذبية» شرحا مثاليا فى وضوحه . فقـد افترض أن طياراً يطيـر بسرعة ١٦١,٠٠٠ مـيلا فى الثانية بالنسـبة للأرض ، ثم يقول :

«لو أننا شاهدنا الطـيار بعناية ، فسـوف نستنتج أنه بطىء بطئا غـير عادى فى حركاته ، وستكون الحوادث المصاحبـة له فى حركته بطيئة بطئا مماثلا - وكأنما نسى الزمان أن يجرى . فسيجاره يبقى ضعف الوقت الذى يبقاه سيجار من سجـائرنا . وقد قلت «نستنتج» عن قصد و«سنرى» بطئا أشد مبالغة فى الزمان ، بيد أن هذا من اليـسير تفسيره ، لأن الطيار يزيد من المسافـة التى بيننا بسرعـة ، وانطباعـات الضوء تستـغرق وقـتا أطول وأطول لكى تصل إلينا . ويبقى التأخر الأشد أعـتدالاً المشار إليه بعد أن يحسب حسـاب انتقال الضوء . غـير أن التبادل يتدخل هـنا مرة ثانية . لأننا نحن الذين نتحرك - فى نظر الطيار - بـسرعة ١٦١,٠٠٠ ميلا فى الثـانية ، وحين يضـع فى حـسبـانه كافـة الاعتـبارات ، يجـد أننا نحن المبطئون : وأن سيجارنا هو الذى يدوم ضعف سيجاره » .

ياله من موقف لا نحـسد عليه ! كل يعتـقد أن سيجـار الآخر يدوم ضعف سيجاره وقد يكون من دواعى العزاء - على كل حال - أن زيارات الآخر للطبيب تدوم أيضا بنسبة الضعف .

www.ibtesama.com/vb

ومسألة الزمان هذه مسألة معقدة ، نظراً لأن الحوادث التى يراها شخص ما على أنها وقعت فى وقت واحد ، يراها الآخر منفصلة بعضها عن البعض الآخر بفترة من الزمن . . ولكى أحاول توضيح كيفية تأثر الزمان ، سأعود إلى قطارنا الذى يسافر متجها إلى الشرق بسرعة تعادل ثلاثة أخماس سرعة الضوء . وسأفترض زيادة فى التوضيح - أن الأرض كبيرة مستوية ، بدلا من أن تكون صغيرة مكورة .

فلو أننا أخذنا الحوادث التى تقع فى نقطة محددة عن الأرض وسألنا أنفسنا كيف ستبدو بعد بداية الرحلة بالنسبة للمسافر من حيث طولها الزمنى . والإجابة هى أنه سيكون هناك ذلك الإبطاء الذى يتحدث عنه إدنجتون ، وهذا معناه فى هذه الحالة ، أن ما يبدو ساعة فى حياة الشخص الساكن سيحكم عليه الرجل الذى يلاحظه من القطار على أنه ساعة وربع . وبالتبادل ، ما يبدو على أنه ساعة فى حياة راكب القطار ، سيحكم عليه الشخص الذى يلاحظه من الخارج على أنه ساعة وربع . فكل منهما يجعل من فترات الزمن التى يلاحظها فى حياة الآخر أطول بربع ساعة من الرجل الذى يحيا هذه الفترات ، والنسبة هى نفسها فيما يتعلق بالأمان ، كما هى بالنسبة للأطوال .

ولكننا ، حين نقارن حوادث منفصلة انفصالا متباعداً فى المكان ، بدلا من أن نقارن حوادث تقع فى مكان واحد على الأرض ، فإن النتائج ستكون أغرب . فلنأخذ الآن جميع الحوادث التى تقع على الخط

www.ibtesama.com/vb

الحديدى ، التى تـكون من وجهة نظر شـخص ثابت على الأرض ، تقع فى لحظة معينة ، ولتكن هذه اللحظة هى اللحظة التى يمر فيها القطار أمام الشخص الثـابت . فمن هذه الحوادث ، تكون تلك الـتى تقع على نقاط يتحرك القطار صوبها - ستبدو للمسـافر على أنها قد حدثت فعلا ، بينما الحوادث التى تقع فى نقاط خلف القطار ، ستبـدو بالنسبة له على أنها ما زالت فى المستـقبل . وحين أقول إن الحـوادث فى الإتجاه الأمامى ستـبدو علي أنها وقعت فعلا ، فإننى أقول شـيئاً لا يتسم بالدقة التامة ، لأنه لن يكون قد رأى تلك الحوادث بعد ، ولكنه حين يراها فعلا ، فسوف يصل إلى هذه النتيجـة - بعد حساب سرعـة الضوء - وهى أنها لابد أن تكون قد وقعت قبل الحركة المذكورة . والحادثة التى تقع فى الإتجاه الأمامى على الخط الحديدى والتى يقرر المشاهد الثابت أنها حدثت الآن (أو الأخرى أن يحكم بأنها وقعت الآن حين يصل إليها نبـؤها) إذ وقعت على مسافة من الخط يستطيع الضـوء أن يقطعها فى ثانية ، سـيحكم عليها المسـافر بأنها حـدثت منذ ثلاثة أرباع ثانيـة ، وإذا وقعت على مـسـافة من المشـاهدين يحكم عليها الرجل الواقف على الأرض بأن الضوء يستطيع أن يقطعها فى عام ، فـإن المسافر سـيحكم (حين يصل نبؤهـا إليه) بأنها وقـعت مبكرة بتسعة أشهر على اللحظة التى مر فـيها بساكن الأرض ، وسيؤرخ - بوجه عام - الحـوادث التى تقع فى الاتجاه الأمامـى على طول الخط الحديدى - قبل حدوثها بثلاث أرباع الوقت الذى يستغـرقه الضوء ليقطع المسافة بينها وبين الرجل الواقف على الأرض والـذى يمر به ، والذى يعـتقـد أن هذه

www.ibtesama.com/vb

الحوادث تقع الآن - أو سيذهب بالأحرى - إلى أنها قد حدثت الآن عندما يصل الضوء المنبعث منها إليه . أما الحوادث التى تقع على الخط الحديدى خلف القطار ، فإن تأريخها سيكون بعد زمان حدوثها بنفس المقدار تماماً .

وعلى ذلك ، لابد لنا من القيام بتصحيح مزدوج فى تاريخ حادثة ما ، حين ننتقل من المشاهد الأرضى إلى المسافر ، فلابد أولا من أن نأخذ خمسة أرباع الوقت كما يقدره ساكن الأرض ، ثم نطرح من هذا المقدار ثلاثة أرباع الوقت الذى يستغرقه الضوء لينتقل من الحادثة موضوع المسألة إلى المقيم على الأرض .

خذ حادثة وقعت فى جزء بعيد من الكون ، وهذه الحادثة تصبح ظاهرة بالنسبة لسكان الأرض والمسافر فى اللحظة التى يمر فيها أحدهما بالآخر . وهنا يستطيع ساكن الأرض - إذا عرف المكان الذى وقعت فيه الحادثة - أن يحكم منذ متى وقعت تلك الحادثة ، مادام يعرف سرعة الضوء . وإذا وقعت الحادثة فى الاتجاه الذى يتحرك صوبه المسافر ، فسوف يستنتج المسافر بأنها حدثت منذ ضعف المدة التى يعتقدها ساكن الأرض . أما إذا وقعت فى الإتجاه الذى جاء منه ، فسيجادل بأنها قد حدثت منذ نصف المدة فحسب التى يعتقدها ساكن الأرض . وإذا كان المسافر يتحرك بسرعة مختلفة ، فإن هذه النسبة ستكون مختلفة .

www.ibtesama.com/vb

فلنفترض الآن - (كما يحدث فى بعض الأحيان) أن نجمين جديدين قد انفجرا فجأة وأصبحا مرئيين للمسافر ولساكن الأرض الذى يمر به . وليكن واحد منهما فى الاتجاه الذى يسافر نحوه القطار ، والآخر فى الاتجاه الذى أتى منه القطار . ولنفترض أن ساكن الأرض يستطيع - بطريقة ما - أن يقدر المسافة بين النجمين ، وأن يستنتج أن الضوء يستغرق خمسين عاماً للوصول إليه من النجم الذى يتحرك صوبه المسافر ، ومائة عام للوصول إليه من النجم الآخر . إنه سيجادل فى هذه الحالة فى أن الانفجار الذى أحدث النجم الجديد فى الإتجاه الأمامى قد حدث منذ خمسين عاماً مضت ، بينما الانفجار الذى أحدث النجم الجديد الآخر قد وقع منذ مائة عام خلت . أما المسافر فسيعكس هذه الأرقام تماماً: فسيستنتج أن الانفجار الأمامى قد وقع منذ مائة عام مضت ، والانفجار الخلفى قد وقع منذ خمسين عاماً خلت . وأعتقد أن كليهما يجادل جدلا صحيحاً مبنياً على مادة فيزيائية صحيحة . والواقع أن كليهما على حق . اللهم إلا إذا تخيل كل منهما أن الآخر مخطىء . وينبغى أن نذكر أن كلا منهما سيقدر سرعة الضوء تقديراً واحداً ، لأن تقديراتهما لمسافات النجمين الجديدين ستتباين بنفس النسبة التى تتباين بها تقديراتهما للأزمنة منذ حدوث الانفجارين . والواقع أن أحد الدوافع الرئيسية لهذه النظرية بأكملها هو ضمان أن سرعة الضوء واحدة بالنسبة للمشاهدين جميعاً ، أياً كانت حركتهم . وهذه الحقيقة ، التى أقرتها التجربة - لم تكن تتفق مع النظريات القديمة وجعلت من الضرورى - ضرورة مطلقة - قبول شىء يبعث على الدهشة ، ونظرية النسبية تبعث على الدهشة بمقدار تنافرها مع

www.ibtesama.com/vb

الوقائع . وليس من شك فى أنها لن تكون بعد بعض الوقت باعثة على شىء من الدهشة على الإطلاق .

وهناك سمة أخرى على جانب عظيم من الأهمية فى النظرية التى عرضناها ، وهى أنه على الرغم من المسافات والأزمنة تتباين بالنسبة للمشاهدين المختلفين فإننا نستطيع أن نستخلص منهم الكمية المسماة «الفاصل Interval الذى يعد واحداً بالنسبة للمشاهدين جميعاً . ويتم الحصول على «الفاصل» فى النظرية النسبية الخاصة على الوجه الآتى : خذ مربع المسافة بين حادثتين ، ومربع المسافة التى يقطعها الضوء فى الوقت بين الحادثتين ، اطرح المقدار الأصغر من المقدار الأكبر ، وستكون النتيجة هى مربع الفاصل Interval بين الحادثتين . والفاصل واحد بالنسبة لجميع المشاهدين ، كما أنه يمثل علاقة فيزيائية حقيقية بين الحادثين ، وهذا ما لا يفعله الزمان أو المسافة . ولقد أعطينا تركيباً هندسياً للفصل فى نهاية الفصل الرابع ، وهذا التركيب يعطى نفس النتيجة التى تعطيها القاعدة المذكورة . والفاصل يكون «زمانياً» حين يكون الزمان بين الحادثتين أطول مما يستغرقه الضوء لينتقل من مكان الواحدة إلى مكان الأخرى ، وفى الحالة المضادة يكون «مكانياً» ، وحين يكون الزمان بين الحادثتين مساوياً تماماً للزمان الذى يستغرقه الضوء فى الانتقال من الواحدة إلى الأخرى ، يكون الفاصل صفراً ، وحينئذ تكون الحادثتان واقعتين على جزءين من شعاع ضوئى واحد ، اللهم إذا لم يحدث أن يمر ضوء ما بهذا الطريق .

وعندما نصل إلى نظرية النسبية العامة ، لابد أن نعمم فكرة

www.ibtesama.com/vb

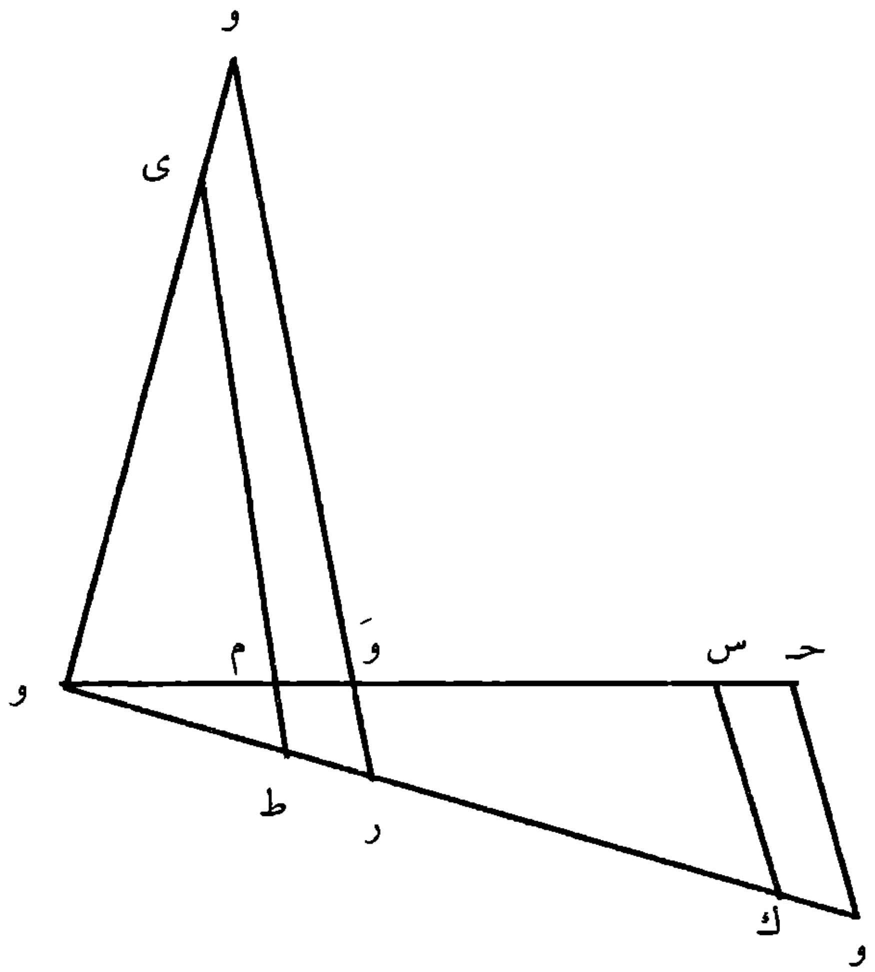
الفاصل . وكلمـا نفذنا بعمق إلى تركـيب العالم ، أصبح هذا التـصور أكثر أهمية ، ويغرينا بأن نقول إنهـا الحقيقة التى ليست المسافات ودورات الزمان سوى تمثيل مشوش لها . ولقد غيرت نظرية النسبية من نظرتنا عن التركيب الأساسى للعالم ، وهذا هو مصدر صعوبتها وأهميتها فى الوقت نفسه .

ويمكن أن يحذف القراء الذين لا يلمون بأية معرفة أولية بالهندسة أو الجبر بقية هذا الفصل . بيد أننى سـأضيف بضعة شروح قلائل للمعادلة العامة التى لم أعط منها حـتى الآن سوى نماذج جزئية ، وذلك لفائدة . أولئك الذين لم يهمل تعليمهم إهمالا «تاماً» ، والمعادلة العامة التى أشير إليها هى معادلة تحويل لورنتس التى تقول : عندما يتحرك جسم ما حركة معـينة بالنسبة لجـسم آخر ، كيف نـستنتج مقـاييس الأطوال - والأزمان الخاصـة بجسم ما من المقاييـس الخاصة بالجسم الآخـر . وقبل أن أعطى المعادلة الجبرية ، سأعطى تركيباً هندسـياً . سنفترض - كما افترضنا من قبل - أن هناك مشاهدين سنسمى أحدهما « و » والآخر « وَ » : أحدهما ثابت على الأرض ، والآخـر يسـافر بسـرعة واحـدة على خط حـديدى مستـقيم . وقد كـان المشاهدان - فى مستـهل الوقت المذكور - فى نفس النقطة من الخط الحـديدى ، ولكنهـما الآن منفـصـلان بمسافـة معـينة ، وتضرت ومضة مـن البرق النقطة « س » علـى الخط الحديدى ، ويحـكم « و » أنه فى اللحظة التى وقعت فيها الومـضة ، كان المشاهد الموجود فى القطار قد وصل إلى النـطقة « وَ » . والمشكلة هى : ما هى المسـافة التى

www.ibtesama.com/vb

سيحكم « وَ » بأنه يبعد بها عن الومضة ؟ وبعد مضى كم من الوقت بعد بداية الرحلة (عندما كان لا يزال فى نقطة و) سيحكم بأن الومضة وقعت ؟ ومن المفروض أننا نعرف تقديرات « و » وأننا نريد أن نحسب تقديرات « وَ » .

وفى الزمن الذى انقضى - فى نظر « و » - منذ بداية الرحلة . فلتكن « و جـ » هى المسافة التى يجب على الضوء أن يكون قد قطعها من



www.ibtesama.com/vb

الخط الحديدى . ارسم دائرة حول « و » بحيث يكون « و جـ» هو نصف قطرها . ومن « وَ » ارسم خطاً موازياً للخط الحديدى يلتقى بالدائرة فى د . وعلى الخط « و د » خذ نقطة مثل « ى » بحيث يكون « و ى » مساوياً للخط « و س » (س هى نقطة الخط الحديدى التى يضربها البرق) ارسم الخط ى م موازاياً للخط الحديدى ، و ، و ط » موازياً للخط « و د » اجعل « ى م » ، « و ط » يلتقيان فى ط ، وكذلك اجعل الخطين « د وَ » ، « و ط » يلتقيان فى ر . ومن « س » و « جـ » ارسم خطين موازيين للخط الحديدى يلتقيان بالخط و س فى ك و « ز » على التوالى . وعلى هذا تكون « ر ك » (كما يقيسها و) وهى المسافة التى سيعتقد « وَ » أنها تفصل بينه وبين الومضة ، وليس الخط « وَ س» وفقاً للرأى القديم وبينا يعتقد « و » - أنه فى الوقت المنقضى منذ بداية الرحلة حتى حدوث الومضة أن الضوء سيقطع المسافة « و جـ » فإن « وَ / » سيعتقد أن الزمن المنقضى هو ما يتطلبه الضوء ليقطع المسافة ط ز (كما يقيسها «و») ونحصل على الفاصل » كما يقيسه « وَ » بطرح مربع « ر » من مربع «س ز » . وقليل من الهندسة الأولية جداً تبين أن هذين متساويان .

والمعادلات الجبرية التى يتضمنها التركيب السابق هى كالآتى : من وجهة نظر « و » ، د ع حادثة تقع على مسافة « س » على طول الخط الحديدى، وفى زمن « ت » بعد بداية الرحلة (حين يكون وَ فى مكان و) .

www.ibtesama.com/vb

ومن جـهة نـظر « و » دع نفس الحادثة تـقع على مسـافـة ط على الخط الحـديدى ، وفى زمن « ت » بعد بـداية الرحلة . د ع « جـ » تكون هى سرعة الضوء و « ف » هى سرعة « وَ » بالنسبة للملاحظ « و » ضع .

$$ب = \frac{جـ}{\sqrt{جـ^{٢} - ف^{٢}}}$$

ثم

$$ط = ب \left(س - ف\, ت \right)$$

$$تَ = ب \left(ت - \frac{ف\, س}{جـ^{٤}} \right)$$

هذه هى معدلات « تحويل لورنتس » ومنها يمكن استنتاج كل ما ورد فى هذا الفصل .

www.ibtesama.com/vb

الفصل السابع

الفواصل فى متصل «المكان - زمان»

لقد حلت نظرية النسبية الخاصة ، التى عرضناها آنفا - مشكلة معينة محددة حلا تاماً ، ألا وهى : تفسير الواقعة التجريبية التى مؤداها : حين يكون جسمان فى حركة منتظمة كل بالنسبة للآخر ، فإن قوانين الفيزياء جميعاً سواء أكانت قوانين الديناميكا العادية ، أم القوانين المتصلة بالكهرباء والمغناطيسية ، تنطبق هى نفسها تماماً على الجسمين . والحركة «المنتظمة» هنا معناها الحركة فى خط مستقيم وبسرعة ثابتة . ولكن ، على الرغم من أن النظرية الخاصة قد حلت مشكلة ، فقد أثيرت على الفور مشكلة أخرى ماذا لو أن حركة الجسمين لم تكن منتظمة ؟ فلنفرض - على سبيل المثال أن أحد الجسمين هو الأرض ، بينما الجسم الآخر عبارة عن حجر ساقط ، فللحجر سرعة متزايدة وهو يسقط باستمرار أسرع فأسرع . وهنا لا نجد شيئاً فى النظرية الخاصة يمكننا من أن نقول إن قوانين الظاهرة الفيزيائية ، ستكون هى نفسها بالنسبة لمشاهد على الحجر ، ومشاهد على الأرض ، وهذا شيء محير بوجه خاص ، لأن الأرض نفسها - بمعنى واسع - عبارة عن جسم ساقط ، ولها فى كل لحظة سرعة[1]

(١) هذا لا يعنى أن سرعتها متزايدة ولكن معناه أنها متغيرة الاتجاه والنوع الوحيد للحركة الذى لا عجلة له هو الحركة ذات السرعة المنتظمة «فى خط مستقيم» .

www.ibtesama.com/vb

نحو الشمس ، وهى السرعة التى تجعلها تدور حول الشمس بدلا من أن تتحرك فى خط مستقيم . ولما كانت معرفتنا بالفيزياء مستمدة من تجاربنا على الأرض . فنحن لا نستطيع أن نقنع بنظرية يفترض فيها أن المشاهد بلا سرعة . ونظرية النسبية العامة تزيل هذا القيد ، وتسمح للمشاهد أن يتحرك بأية طريقة : فى خط مستقيم أو ملتو ، بطريقة منتظمة ، أو يتحرك بعجلة . وفى أثناء إزالة هذا القيد ، انتهى أينشتين إلى قانونه الجديد فى الجاذبية ، وهو القانون الذى سنتناوله الآن . وكان العمل صعباً صعوبة غير عادية . وشغله عشر سنوات . فلقد ظهرت النظرية الخاصة عام ١٩٠٥ ، والنظرية العامة سنة ١٩١٥ .

ومن الجلى - من الخبرات المألوفة لنا جميعاً - أن الحركة المتغيرة السرعة أصعب كثيراً فى تناولها من الحركة المنتظمة . فإذا كنت فى قطار يجرى بسرعة منتظمة ، فلن تلحظ حركته ما دمت لا تنظر من النافذة ، ولكن حين تستخدم الفرامل فجأة ، تندفع إلى الأمام ، وتدرك أن شيئاً ما يحدث دون أن يكون عليك أن تشاهد أى شىء خارج القطار . وكذلك يبدو كل شىء عادياً فى المصعد حينما يتحرك بانتظام ، ولكنه فى البدء والوقوف حين تتغير سرعته ، فإنك تشعر بإحساسات غريبة فى الأبط . (تسمى حركة ما متغيرة حين تزداد بطئا ، أو تزداد سرعة . وحين تبطىء يكون التغيير سلبياً) وهذا الكلام نفسه ينطبق على إسقاط ثقل فى قمرة سفينة . فما دامت السفينة . . تتحرك حركة منتظمة ، فإن الثقل سوف

www.ibtesama.com/vb

يسلك بالنسبة للقمرة - وكأن السفينة ساكنة لا تتحرك ، فإذا بدأ فى السقوط من منتصف السقف فإنه سيقع فى منتصف الأرضية . ولكن إذا كان ثمة تغيير فى السرعة فسوف يتغير كل شىء . فإذا كانت السفينة تزيد من سرعتها زيادة كبيرة ، فسيبدو الثقل بالنسبة لمشاهد موجود داخل القمرة - ساقطاً فى منحنى متجها نحو المؤخرة ، وإذا كانت الحركة تتناقص بسرعة ، فسوف يكون المنحنى متجها نحو المقدمة . هذه الحقائق جميعاً مألوفة ، وقد أدت بجاليليو ونيوتن إلى أن ينظر إلى الحركة المتغيرة على أنها شىء مختلف اختلافا أساسياً بطبيعته عن الحركة المنتظمة . بيد أن هذه التفرقة لا يمكن الاقتناع بها إلا بالنظر إلى الحركة بوصفها مطلقة ، لا نسبية . فلو أن كل حركة كانت نسبية ، فإن الأرض تغير سرعتها بالنسبة للمصعد ، كما يغير المصعد سرعته بالنسبة للأرض تماماً ومع ذلك فإن الأشخاص الواقفين على الأرض لا يشعرون بإحساسات غريبة فى الأبط حين يبدأ المصعد فى الأرتفاع . وهذا يصور لنا صعوبة مشكلتنا والواقع أنه على الرغم من اعتقاد عدد قليل من الفيزيائيين فى عصرنا الحديث فى الحركة المطلقة ، فما زالت تقنية (تكنيك) الفيزياء الرياضية تتضمن اعتقاد نيوتن فى هذه الحركة المطلقة ، وكان لابد من ثورة فى المنهج لكى نحصل على تقنية (تكنيك) متحررة من هذا الافتراض . وقد تمت هذه الثورة فى نظرية أينشتين النسبية العامة وربما كانت بدايتنا فى شرح الأفكار الجديدة التى أتى بها أينشتين (انتقائية) إلى

www.ibtesama.com/vb

حد ما ؛ ولكننا نحسن صنعاً لو أخذنا بتصور «الفاصل» . فهذا التصور - كما يبدو فى نظرية النسبية الخاصة - تعميم فعلا للفكرة التقليدية عن المسافة فى المكان والزمان ، ولكن من الضرورى تعميمها أكثر من ذلك . وأياً كان الأمر ، فمن الضرورى أن نشرح أولاً قدراً معيناً من التاريخ ، ولهذا الغرض ينبغى أن نرجع القهقرى إلى فيثاغورس .

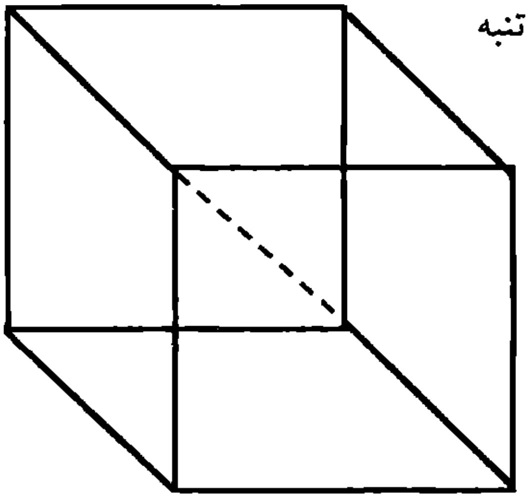
ولعل فيثاغورس - شأنه فى ذلك شأن كثير من الشخصيات العظيمة فى التاريخ - لم يوجد قط ، فهو شخصية شبه أسطورية جمعت بين الرياضة والكهانة بنسب غير يقينية . وسأفترض - على كل حال - أنه قد وجد ، وأنه اكتشف النظرية المنسوبة إليه . وقد كان فيثاغورس معاصراً - على وجه التقريب - لكونفوشيوس وبوذا ، وأنشأ طائفة دينية كانت تعتقد أن من الشر أكل الفول ، كما أنشأ مدرسة للرياضيين أهتمت اهتماماً خاصاً بالمثلثات قائمة الزوايا . وتقول نظرية فيثاغورس (وهى النظرية ٤٧ عند إقليس) إن مجموع المربعين المنشأين على الضلعين القصيرين من المثلث القائم الزاوية يساوى المربع المنشأ على الضلع المقابل للزاوية القائمة . وليس فى الرياضة كلها عبارة لها ما لهذه العبارة من التاريخ المتميز . وقد تعلمنا جميعاً كيف نبرهن عليها فى صبانا . ومن الحق أن «البرهان» لم يكن يثبت شيئاً . والطريقة الوحيدة لإثباتها كانت بواسطة التجربة . والحقيقة أيضاً أن هذه القضية ليست صادقة تماماً ، ولكنها صادقة على وجه التقريب . بيد أن كل شىء فى الهندسة -

www.ibtesama.com/vb

وبالتالى فى الفيزياء ، مشتق منها بتعميمات متعاقبة ، وأحدث هذه التعميمات هى نظرية النسبية العامة .

ومن المرجح أن نظرية فيثاغورس نفسها عبارة عن تعميم لقاعدة «الإبهام» المصرية . فقد كان من المعروف منذ قرون فى مصر أن المثلث الذى تكون أضلاعه ٣ ، ٤ ، ٥ وحدات فى الطول يكون مثلثاً قائم الزاوية . وقد استخدام المصريون هذه المعرفة - من الوجهة العملية . فى قياس حقولهم . والآن ، إذا كانت أضلاع المثلث هى ٣ ، ٤ ، ٥ بوصة فإن المربعات المنشأة على هذه الأضلاع ستكون مساحتها على التوالى هى ٩ ، ١٦ ، ٢٥ بوصة مربعة ، وإذا أضيفت ٩ إلى ١٦ فسيكون الناتج ٢٥ . وثلاثة أضعاف ثلاثة تكتب «$٣^٢$» وأربعة أضعاف تكتب «$٤^٢$» وخمسة أضعاف خمسة نكتب «$٥^٢$» وبذلك تكون لدينا هذه المعادلة .

$$٣^٢ + ٤^٢ = ٥^٢$$



ومن المفروض أن فيثاغورس قد تنبه لهذه الحقيقة بعد أن تعلم من المصريين أن المثلث الذى أضلاعه هى ٣ ، ٤ ، ٥ مثلث قائم الزاوية ، ووجد أن هذه الحقيقة يمكن تعميمها ، ومن ثم فقد توصل إلى نظريته المشهورة . فى المثلث القائم الزاوية ، يكون المربع

www.ibtesama.com/vb

المنشأ على الضلع المقابل للزاوية القائمة - مساوياً لمجموع المربعين المنشأين على الضلعين الآخرين .

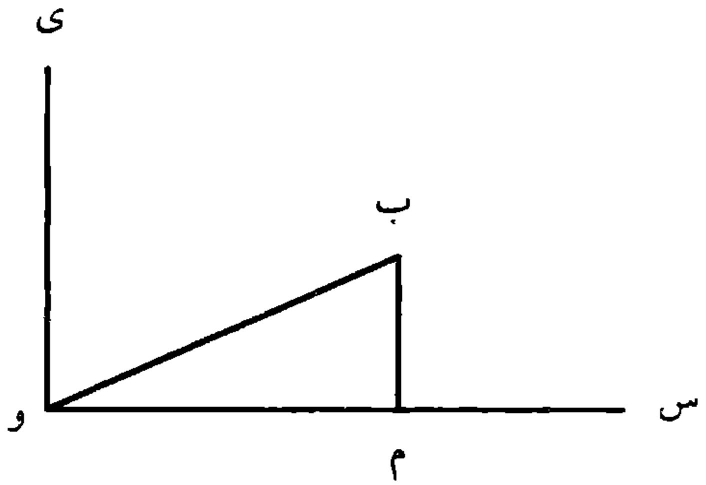
وكذلك الحال فى الأشكال ذات الأبعاد الثلاثة : إذا أخذت كتلة قائمة الزوايا فإن المربع المنشأ على القطر (وهو الخط المرسوم بالنقط فى الشكل المقابل) يساوى مجموع المربعات المنشأة على الجوانب الثلاثة .

هذا أقصى ما وصل إليه الأقدمون فى هذه المسألة .

وترجع الخطوة الهامة التالية إلى ديكارت الذى جعل من نظرية فيثاغورس أساس منهجه فى الهندسة التحليلية . فلنفترض أنك تريد أن ترسم خريطة منظمة لجميع الأماكن الموجودة فى سهل ما - وسنفترض أن هذا السهل صغير بدرجة تجعل من الممكن تجاهل حقيقة أن الأرض كروية . وستفترض أنك تعيش وسط هذا السهل ، ومن أبسط الطرق لوصف موقع مكان أن نقول : أبدأ من منزلى ، ثم سر مسافة كذا وكذا ناحية الشرق ، ثم مسافة كذا وكذا شمالا (وقد يكون الغرب فى الحالة الأولى والجنوب فى الحالة الثانية) . وهذا يخبرك بموقع المكان تماماً ، وهذا هو المنهج الطبيعى المتبع فى مدن أمريكا المستطيلة الشكل ففى نيويورك سيقال لك ، سر عدداً معينا من العمارات شرقاً (أو غرباً) ثم عدداً معينا من العمارات شمالا (أو جنوباً) والمسافة التى عليك أن تقطعها شرقاً ستسميها (س) والمسافة التى عليك أن تقطعها شمالا سنسميها (ى). . . وإذا كان عليك أن تتجه غرباً ، فستكون س سالبة ، وإذا كان عليك أن تتجه جنوباً فإن ى ستكون سالبة .

www.ibtesama.com/vb

فلتكن « و م » هى المسافة التى تقطعهـا شرقاً و « م ب » هى المسافة التى تقطعها شـمالا . فعلى أى بعد تكون من منزلك على خط مسـتقيم عندمـــا تصل إلى ب ؟



إن نظرية فـيـثاغـورس تعطيك الإجـابة فالمربع القـائم عـلـى و ب هـو مجموع المربعين المقامين على «و م » و « م ب » فإذا كـان « و م » عبارة عن أربعة أميـال ، و « م ب » ثلاثة أميال فإن « و ب » يكـــون خمسـة أميال . وإذا كـان « و م » ١١ ميـلا و « م ب » خمسة أميال ، فسيكون (و ب) ثلاثة عشر ميلا لأن ١٢^{٢} + ٥^{٢} = ١٣^{٢} . وهكذا إذا اصطنعت منهج ديكارت فى رسم الخرائط ، فإن نظرية فيثاغورث تكون جوهرية فى إعطائك المسافـة من مكان إلى مكان . وفى الأشكال ذات الأبعـاد الثلاثة الأمر مماثل تمامـاً : فلنفترض أنك تريد بدلا من مجـرد تحديد المواقع على السهل ، أن تثبت محطات لاعـتقال البـالونات فوقه ، فـعليك فى هذه الحالة أن تضيف مـقداراً ثالثاً ، هو الارتفاع الذى سيـكون عليه البالون . فإذا رمـزت إلى الارتفـاع بحــرف « ع » وكان « ر » هى المسافة المـباشرة من « و » إلى البالون ، فستكون لديك هذه المعادلة :

www.ibtesama.com/vb

$ر^٣ = س^٢ + ص^٢ + ع^٣$.

ومن هذه المعادلة يمكن أن تحسب « ب » حين تعرف «س» ، «ص» «ع» . فإذا كنت تستطيع مثلا أن نصعد إلى البالون بأن تسير ١٢ ميلا إلى الشرق ، وأربعة أميال إلى الشمال ، وثلاثة أميال إلى أعلى فإن بعدك على البالون فى خط مستقيم هو ثلاثة عشر ميلا لأن ١٢ × ١٢ = ١٤٤ ، ٤ × ٤ = ٦ ، ٣ × ٣ = ٩ ، ١٤٤ + ١٦ + ٩ = ١٣ × ١٣ = ١٦٩

ولكن فلنفترض أنك بدلا من أن تأخذ رقعة صغيرة من سطح الأرض التى يمكن اعتبارها مسطحة ، فإنك تريد أن ترسم خريطة العالم . ورسم خريطة دقيقة للعالم على ورقة مسطحة أمر محال . ويمكن أن تكون الكرة دقيقة بمعنى أن كل شىء مرسوم عليها بمقياس رسم معين ، أما الخريطة المسطحة فلا يمكن أن تكون دقيقة . ولست أتحدث عن صعوبات عملية، بل أتحدث عن استحالة نظريتها وعلى سبيل المثال : الأنصاف الشمالية من خط زوال جرينتش ، وخط عرض ٩٠ فى الطول الغربى ، مع الجزء الموجود من خط الاستواء بينهما ، تؤلف مثلثاً متساوى الأضلاع وزواياه جميعاً قائمة . مثل هذه النوع من المثلثات مستحيل على سطح مستو . ومن الممكن - من ناحية أخرى - أن تنشىء مربعاً على سطح مستو ، ولكنك لن تستطيع ذلك على جسم كروى . فلنفترض أنك تحاول ذلك على الأرض . سر مائة ميل غرباً ، ثم مائة

www.ibtesama.com/vb

ميل شمالا ، ثم مـائة ميل شرقاً ، ثم مائة ميل جنوباً . ولـعلك تعتقد بهذا أنك رسـمت مربعاً ، والحقـيقة أنك لن ترسم مـربعاً ، لأنك لن تعـود فى النهاية إلـى النقطة التى بدأت منهـا . وإذا أتيح لك الوقت ، فربما استطعت أن تقنع نفسك بالتجربة ، وإذا لم يتح لك الوقت ، فإنك تستطـيع أن ترى بسهولة أن هـذا الأمر ينبغى أن يكـون كذلك . وحين تكون أقرب إلى القطب ، فإن مائة مـيل تقطع بك مسافة أطول على خط الطول - مما لو كنت أقرب إلى خط الاسـتواء ، بحيث إنك حين تسـير مائة ميل شرقاً (إذا كنت فى نصف الكرة الشمالى) فإنك تصل إلى نقطة أبعـد إلـى الشرق من النقطة الـتى بدأت منها . فـإذا اتجهت جنوباً بعـد ذلك ، فإنك تظـل أبعد فى الشرق من نقـطة بدايتك ، كما تنـتهى عند مكان مختلف عـن المكان الذى بدأت منه . فلنفترض - على سبـيل مثال آخر - أنك بدأت على خط الاستواء من نقطة تبعد أربعة آلاف ميل شرق خط زوال جرينتش ، ثم سافرت شمالا على هذا الخط أربعة آلاف ميل ، مخـترقاً جـرينتش ، ومصـعداً إلى المنطقة المجـاورة لجزر شـتلاند ، ثم سافـرت بعد ذلك شرقـاً مسافـة أربعة آلاف ميل ، ثم أربعـة آلاف ميل جنوباً . . سـيأخذك هذا كلـه إلى خط الأستواء عنـد نقطة تبعـد حوالى أربعة آلاف ميل شرقاً عن النقطة التى بدأت منها .

وهذا الذى قلناه حتى الآن ، ليس صائبـا تماما - بمعنى ما ، وذلك لأن السفر شرقا ليس هو أقـصر طريق من مكان إلى مكان آخر يبعد عن

www.ibtesama.com/vb

المكان الأول شرقا ، اللهم إلا عند خط الاستواء . فالسفينة التى تبعد عنا إلى الشرق - ستبدأ بالذهاب إلـى مسافة معينة ناحية الشمــال - وستبحر فى «دائرة عظمى» أى دائرة مـركزها هو مـركز الأرض . وهذا هو أقـرب اقتـراب للخط المسـتقـيم الذى يمكن رسمــه على سطح الأرض . ودوائر خطوط الزوال الطولية عبارة عــن دوائر عظمى ، وكذلك خط الاستواء ، أما خطوط العرض المتـوازية الأخرى فليست كذلك . ولهـذا ينبغى علينا إذن أن نكون قد افترضنا أنك حين تصل إلى جزر شتلاند ، تسافر أربعة آلاف ميل - لا متـجها إلى الشرق ، بل فى دائرة كبـيرة تنتهى بك عند نقطة شرق جزر شـتلاند . وهذا على كل حال ، يدعم نتـيجتنا : وهى أنك تنتهى عند نقطة أبعد شرقا مما كانت عليه نقطة بدايتك من قبل .

ما هى الفـروق بين الهندسة على سطح كروى والـهندسة على سطح مسـتو ؟ إنك إذا رسـمت مثلثا على الأرض ، أضـلاعه عـبارة عن دوائر عظمى فلن تجد أن مـجموع زوايا المثـلث عبارة عن زاويتين قـائمتين : إن مجمـوعهما سيكون أكـبر . والمقدار الذى تتجاوز به الـزاويتين القائمتين يتناسب مع حجم المثلث . وعلى مـثلث صغير يمكن أن ترسـمه بالخيط على حديقتك أو حتى على مـثلث تكونه ثلاث سفن تستطيع كل منها أن ترى الأخرى ، فإن الزوايا لن تزيد إلا قليـلاً جداً عن زاويتين قائمتين ، بحيث لن تـستطيع أن تعثـر على الفرق ولكنك إذا أخـذت المثلث الذى يصنعه خط الاسـتواء وخط زوال جرينتش وخط الزوال ٩٠ فإن مـجموع

www.ibtesama.com/vb

الزوايا يصل إلى «ثلاث» زوايا قائمة . وتستطيع أيضا أن تحصل على مثلثات يصل مجموع زواياها إلى ستة زوايا قائمة . وهذا كله تستطيع أن تكتشفه بقياسات على سطح الأرض ، دون أن يكون عليك أن تحسب حسابا لأى شيء آخر في بقية المكان .

وتفشل نظرية فيثاغورث أيضا بالنسبة للمسافات الموجودة على سطح كروى . فإن المسافة بين مكانين من وجهة نظر مسافر مقيد إلى الأرض - هى مسافة «دائرتها العظمى» أى أقصر رحلة يستطيع أن يقوم بها إنسان دون أن يغادر سطح الأرض . فلنفترض الآن أنك أخذت ثلاثة أجزاء صغيرة من دوائر عظمى تصنع مثلثا ، ولنفترض أن كل واحدة منها متعامدة على الأخرى ، أو لكى نكون محددين ، فلتكن واحدة على خط الاستواء والأخرى هى خط زوال جرينتش والثالثة متجهة شمال خط الاستواء . فلنفترض أنك سرت ثلاثة آلاف ميل على خط الأستواء ، ثم أربعة آلاف ميل شمالا ، أين ستكون من نقطة بدايتك ، مع تقدير لمسافة على دائرة عظمى ؟ إنك إذا كنت على سطح مستو ، فستكون على بعد خمسة آلاف ميل ، كما رأينا من قبل والواقع - على كل حال - أن مسافة الدائرة العظمى ستكون أقل كثيراً من ذلك . ففى المثلث القائم الزاوية المرسوم على سطح كروى ، يكون المربع المنشأ على الضلع المقابل للزاوية القائمة أقل من مجموع المربعين المنشأين على الضلعين الأخرين . هذه الفروق بين الهندسة على سطح كروى وبين الهندسة على سطح مستوى ،

www.ibtesama.com/vb

فروق أصليــة أى أنها تمكنك من أن تجد ما إذا كـان السطح الذى تعيش عليه يشــبه سطحاً مـستوياً أم كـرويا دون أن يتطلب ذلك أن تدخل فـى حسابك أى شىء آخر خارج هذا السطح . وقـد أدت مثل هذه الاعتبارات إلى الخطوة الثالثة الهامة فى موضوعنا ، وهى الخطوة التى قام بها جاوس Gausc الذى عاش منذ مـائة وخمسين عـاماً مضت وقـد درس «جاوس» نظرية «السطوح» وتبين كـيف يمكن تطويرها (أو التوسع فـيهـا) بوساطة القياسات على السطوح نفسها دون الخروج عنها . فلكى نحدد موقع نقطة فى المكان ، نحتـاج إلى ثلاث قيـاسات ، ولكننا لكى نحـدد موقع نقطة على سطح نحتـاج إلى قياسين فـقط : فمثلا يتم تحـديد نقطة على سطح الأرض إذا عرفنا خط العرض وخط الطول اللذين يمران بها .

وهنا وجد « جـاوس» أنه أيا كان نظام القـياس الذى نتـخذه ، وأياً كانت طبيعة السطح ، فهناك دائماً طريقـة لحساب المسافة بين نقطتين غير متباعـدتين جداً على السطح ، حين تعرف المقادير التى تحدد مواقـعهما ، والمعادلة الخاصة بالمسافة هى تعميم لـمعادلة فيثاغورس ؛ فهى تنبئك بمربع المسافة بدلالة مربعات الاختـلاف بين المقادير المقيسة التى تحدد النقطتين ، وكـذا حصـيلة هذين المقـدارين ، وحين تعرف هذه المـعادلة تسـتطيع أن تكشف الصفات الأصلية جميعاً للسطح ، أى ، كل تلك الصفات التى لا تعتمد على علاقات بنقاط خارج السطح . فتستطيع أن تكتشف مثلا ، ما إذا كانـت زوايـا مـثلث ما ، يصل مجمـوعها إلـى زاويتـين قـائمتـين أو

www.ibtesama.com/vb

أكثر ، أو أقل ، أو أكثر ، في بعض الحالات ، وأقل في بعضها الآخر .

ولكننا حين نتحدث عن «مثلث» فلابد أن نشرح ما نعنيه ، لأنه لا توجد خطوط مستقيمة على معظم السطوح . فعلى سطح كروى سنستبدل الخطوط المستقيمة بدوائر عظمى التى هى أقرب تقارب ممكن للخط المستقيم . وسنأخذ - بوجه عام - بدلا من الخطوط المستقيمة - الخطوط التى تعطينا أقصر طريق إلى السطح من مكان إلى مكان . مثل هذه الخطوط تسمى خطوط جيوديسية Geodesics وهذه الخطوط الجيوديسية على الأرض عبارة عن دوائر عظمى ، فهى على وجه العموم أقصر طريق للسفر من نقطة إلى نقطة إذا لم تكن قادراً على مغادرة السطح . وهى تأخذ مكان الخطوط المستقيمة فى الهندسة الداخلية لسطح ما ، وحين نتساءل عما إذا كانت زوايا مثلث يصل مجموعها إلى زاويتين قائمتين أو لا يصل . فإننا نعنى الحديث عن مثلث أضلاعه خطوط جيوديسية ، وعندما نتحدث عن مسافة بين نقطتين ، فإننا نعنى المسافة على جيوديسى .

والخطوة التالية فى عملية التعميم التى تقوم بها، صعبة إلى حد ما : إنها الانتقال إلى الهندسة اللاإقليدية . فنحن نعيش فى عالم ؛ للمكان فيه ثلاثة أبعاد ، ومعرفتنا التجريبية بالمكان مؤسسة على قياس المسافات الصغيرة والزوايا (وحين أتحدث عن المسافات الصغيرة أعنى المسافات

www.ibtesama.com/vb

الصغيـرة بالقياس إلى مسافات الـفلك ، وكل المسافات التى على الأرض صغيرة بهذا المعنى) . وقد كان من المعتقد سابقاً أننا نستطيع التأكد قبليا من أن المكان إقليـدى - فمثـلا ، مجـموع زوايا المثلث يسـاوى مجـموع زاويتين قائمـتين . ولكن ، عرفنا فـيمـا بعد أننا لا نستطـيع إثبات ذلك بالمنطق ، وإذا كـان لابد من معـرفة ذلك ، فـينبغى أن يعـرف كنتيـجة للقياســات . وكان من المعتقد قـبل أينشتين أن القياســات تؤكد الهندسة الإقليدية داخل حدود الدقة الممكنة . والآن ، لم يعد ذلـك معتقداً ، وما برح صادقـا أننا نستطيع - بما يمكن أن يسمى حـيلة طبيعيـة - أن نجعل الهندسة الإقـليدية «تبدو» صـادقـة خـلال منطقة صـغيـرة مثل الأرض ، ولكـن ، أدى الأمر بأينشتين فى شرحـه للجاذبية إلى رأيه القائل بأنه فى المناطق الكبـيرة حيث توجـد مادة ، لا يمكن أن ننظر إلى المكان بوصـفه إقليدياً . وسنهـتم بأسباب ذلك فـيما بعـد . أما ما يهـمنا الآن ، فهى الطريقة التى تنتج بهـا الهندسة اللاإقليدية من تعمـيم العمل الذى قام به «جاوس» .

ليس هناك سبب يجعلنـا لا نجد نفس الظروف فى المكان ذى الأبعاد الثلاثة كـما نجـده مثلا - علـى سطح كرة . وقد يحـدث أن زوايا المثلث مجـموعها دائما أكثـر من زاويتين قائمتين وأن الزيادة تكون مـتناسبة مع حجم المـثلث . وقد يحـدث أن المسافـة بين نقطتين تعطى معـادلة مماثلة للمعادلة التى لدينا على سطح كـرة ، ولكنها تتطلب ثلاثة مقادير ، بدلا

www.ibtesama.com/vb

من مقدارين . وسواء يحدث هذا أم لا يحدث لا يمكن اكتشافه إلا بالقياسات الفعلية فحسب ، فهناك عدد لا متناه من مثل هذه الامكانيات .

وتطورت هذه الطريقة على يد «ريمان Riemann فى رسالته «عن الافتراضات الكامنة وراء الهندسة» (١٨٥٤) والتى طبق فيها عمل جاوس عن السطوح على أنواع مختلفة من الأماكن ذات الأبعاد الثلاثة . وبين أن جميع السمات الجوهرية لنوع معين من المكان يمكن استنباطها من المعادلة الخاصة بالمسافات الصغيرة . وافترض أنه ، من المسافات الصغيرة فى ثلاثة اتجاهات معطاة يمكن أن تحملك معها من نقطة إلى أخرى ليست بعيدة عنها ، فمن الممكن حساب المسافة بين النقطتين فإذا عرفت - مثلا - أنك تستطيع الانتقال من نقطة إلى أخرى بأن تتحرك مسافة معينة ناحية الشرق ، ثم مسافة معينة ناحية الشمال ، وأخيراً مسافة معينة مستقيمة إلى أعلى فى الهواء فإنك تكون قادراً على حساب المسافة من نقطة إلى أخرى . وقاعدة الحساب هى امتداد لنظرية فيثاغورس ، بهذا المعنى ، وهو أنك تتوصل إلى مربع المسافة المطلوبة بجمع مضاعفات مربعات المسافات المكونة ، مع مضاعفات حصيلتها . ومن بعض السمات المعينة فى المعادلة ، يمكنك أن تستدل على نوع المكان الذى تتناوله هذه المسألة وهذه السمات لا تعتمد على المنهج الخاص الذى اتبعته فى تحديد مواقع النقط .

www.ibtesama.com/vb

ولكى نصل إلى ما نريده من نظرية النسبية ، علينا الآن أن نقوم بتعميم آخر : علينا أن نستبدل المسافة بين نقطتين (بالفاصل) بين الحادثتين . وهذا يقضى بنا إلى متصل (المكان - الزمان) . ولقد رأينا أننا نجد مربع (الفاصل) - فى نظرية النسبية الخاصة بطرح مربع المسافة بين حادثتين من مربع المسافة التى يقطعها الضوء فى الوقت المنقضى بينهما . أما فى النظرية العامة ، فلا نفترض هذه الصورة الخاصة للفاصل بل نفترض أننا نبدأ بصورة عامة شبيهة بالصورة التى استخدمها ريمان للمسافات . وفضلا عن ذلك ، فقد افترض أينشتين - شأنه فى ذلك شأن ريمان - معادلته للحوادث «المتجاورة» فحسب ، أى للحوادث ذات الفاصل القصير بينها فحسب . أما ما يجرى وراء هذه الافتراضات الأولى فيتوقف على ملاحظة الحركة الفعلية للأجسام ، بطرق سنقوم بشرحها فى الفصول القادمة .

ونستطيع الآن أن نلخص ونعيد تقرير العملية التى قمنا بوصفها . فى الأماكن ذات الأبعاد الثلاثة يمكن تحديد موقع نقطة بالنسبة لنقطة ثابتة (الأصل) بالإشارة إلى ثلاثة مقادير (الإحداثيات) . فمن الممكن مثلا تحديد موقع بالون بالنسبة لمنزلك ، إذا عرفت أنك تصل إليه بأن نسير أولا مسافة معينة صوب الشرق ، ثم مسافة أخرى معينة ناحية الشمال . ثم بالصعود مسافة أخرى إلى أعلى . وعندما تكون الإحداثيات الثلاث كما هى الحال فى هذا المثل - ثلاث مسافات متعاقدة بعضها على البعض

www.ibtesama.com/vb

الآخر ، والتى تنقلك على التوالى إلى أصل النقطة موضوع المسألة ، فإن مربع المسافة المباشرة لهذه النقطة ، هو مجموعة مربعات الإحداثيات الثلاث . وفى الحالات جميعاً - سواء فى المكان الإقليدى أو فى المكان اللاإقليدى ، يمكنك الحصول عليه بجمع مضاعفات المربعات ونواتج الاحداثيات وفقاً للقاعدة المقررة . وقد تكون الإحداثيات أية مقادير تحدد موقع نقطة ما ، بشرط أن تكون للنقاط المتجاورة مقادير متجاورة لإحداثياتها . ونحن نضيف - فى النظرية العامة للنسبية - إحداثية رابعة لنعطى الزمان ، ومعادلتنا تعطى «الفاصل» بدلا من المسافة المكانية ، وفضلا عن ذلك فإننا نفترض دقة معادلتنا بالنسبة للمسافات الصغيرة فحسب .

وها نحن أخيراً فى وضع يسمح لنا بتناول نظرية أينشتين فى الجاذبية .

www.ibtesama.com/vb

FARES_MASRY
www.ibtesama.com/vb
منتديات مجلة الإبتسامة

www.ibtesama.com/vb

الفصل الثامن

قانون أينشتين للجاذبيَة

قبل أن نتعرض لقانون أينشتين الجديد، يحسن بنا أن نقنع أنفسنا - على أسس منطقية - بأن قانون نيوتن للجاذبية لا يمكن أن يكون صحيحاً تمام الصحة .

قال نيوتن إنه بين أى جسيمين من المادة ، ثمة قوة تتناسب مع حاصل ضرب كتلتيهما ، وتتناسب عكسياً مع مربع المسافة بينهما . وهذا معناه - بعض النظر فى الوقت الحالى عن مسألة الكتلة - أنه إذا كان هناك جذب معين حين يكون الجسيمان على بعد ميل ، كل عن الآخر ، فسيكون بينهما ربع قوة الجذب إذا كانت المسافة بينهما ميلين ، وتسع قوة الجذب حين تكون المسافة بينهما ثلاثة أميال ، وهلم جراً : فالجذب يتناقص بأسرع مما تزداد المسافة . والآن ، عندما تحدث نيوتن عن المسافة ، فقد كان يعنى - بالطبع - المسافة فى وقت معين . . بيد أننا قد رأينا أن هذا خطأ . فما يحكم عليه ملاحظ بأنه نفس اللحظة على الأرض والشمس ، يحكم عليه ملاحظ آخر بأنهما لحظتان مختلفتان . «فالمسافة فى لحظة معينة» عبارة إذن عن تصور ذاتى : من العسير أن يدخل فى قانون كونى . ونستطيع بالطبع - أن نجعل قانوننا غير ملتبس بأن نقول إننا سوف نقدر الأزمنة كما يقدرها مرصد جرينتش ، غير أننا لا نكاد

www.ibtesama.com/vb

نعتقد أن ظـروف الأرض العرضية تستحق أن تؤخذ هذا المأخذ من الجد . وسيختلف تقدير المسافة أيضاً بالنسبة للمشاهدين المختلفين . وعلى هذا لا نستطيـع أن نسمح بأن تكون الصورة التـى عليها قـانون نيوتن للجـاذبية صحـيحة تماماً ، مـادامت ستعطى نتـائج مختلفـة وفقاً لعدد المواصـفات المشروعـة التـى نتبناها علـى حد سواء . وهذا القـول لا أقـل عبـثاً عـن مسـألة يكـون فيهـا تحديد رجل قتل رجلا آخـر متوقـفاً على وصف كل منهـما بإسـمـه الخـاص أو بإسـم عـائلته . ومـــن الجلـى أن القـوانين الفيـزيائية يـنبغى أن تكـون واحـدة سواء قـيست المسـافات بالأمـيال أم بالكيلومتـرات . ونحن مهتـمون بما يمكن أن يعـد - جوهرياً - امـتداداً لنفس المبدأ .

وقياسـاتنا أكثر خضوعا للاتفـاق ، مما تقبله نظرية النسبية الخاصة . وفضلا عــن ذلك فإن كـل قياس عبارة عن عملية فـيزيائية تتم بوسـاطة مـادة فـيـزيائيـة ، والنتـيـجـة هـى بكـل تأكـيد ، مـعطـى تجريبى datum experimental ولكنها قد لا تكون قـابلة للتفسيـر البسيط الذى نخلعه عليـها عادة . ولهـذا ، لن نفتـرض - كبداية - أننا نعـرف كيف نقـيس أى شيء . وسنفتـرض أن هناك كمـيـة فيـزيائية مـعينة تسـمى «الفاصل» وهـو عبـارة عن علاقة بـين حادثتين لا تنفـصل إحداهما عــن الأخرى انفصالا مـتباعداً جداً ، ولكنا لا نفترض مقـدماً أننا نعرف كيف نقيسـها ، دون أن نتجـاوز ما أخذناه على أنه شيء مفروغ منه ، وهو أنها

www.ibtesama.com/vb

تعطى بوساطة تعميم معين لنظرية فيثاغورس ، كما تحدثنا عن ذلك فى الفصل السابق .

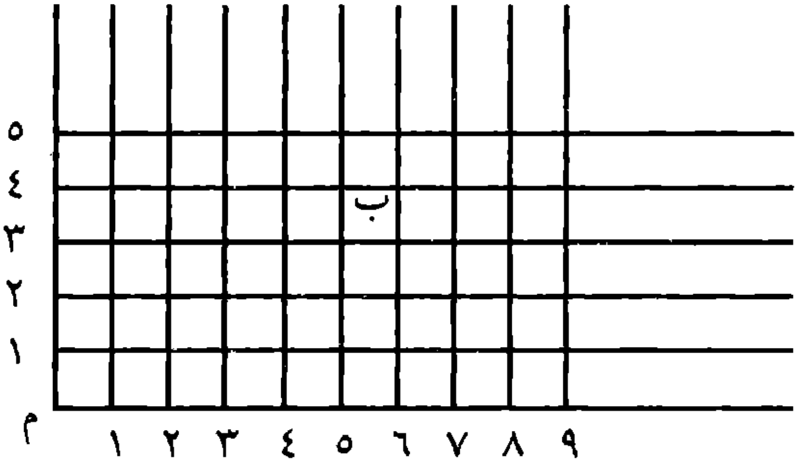
ومهما يكون من أمر ، فنحن نفترض أن للحوادث «نظاماً» ، وأن هذا النظام ذو أبعاد أربعة . ونحن نفترض - أعنى أننا نعرف ما نعنيه بقولنا إلى حادثة معينة أقرب إلى حادثة أخرى من حادثة ثالثة ، بحيث أننا قبل أن نقوم بقياسات دقيقة ، نستطيع أن نتحدث عن «جواز» حادثة ما ، نحن نفترض - أنه لكى نحدد موقع حادثة فى متصل «الزمان - مكان» فلابد لنا مع أربعة مقادير (إحداثيات) وهذه المقادير الأربعة هى فى الحالة السابقة الخاصة بالإنفجار الذى حدث فى منطاد : خط العرض وخط الطول ، والإرتفاع والزمان . ولكننا لا نفترض شيئاً عن الطريقة التى نحدد بوساطتها هذه الأحداثيات ، اللهم إلا أن الاحداثيات المجاورة تنسب لحوادث متجاورة .

والطريقة التى تتم بها تحديد هذه الأرقام المسماة إحداثيات ليست جزافية تماماً ، كما أنها ليست نتيجة لقياس دقيق ، بل هى تقع فى منطقة وسط بين هذا وذاك . فبينما تقوم برحلة متصلة ، ينبغى ألا تتغير إحداثياتك فى قفزات مفاجئة ففى أمريكا - من المرجح أن تحمل المنازل بين الشارع الرابع عشر والشارع الخامس عشر الأرقام من ١٤٠٠ إلى ١٥٠٠ ، بينما من المرجح أن تحمل المنازل الموجودة بين الشارع الخامس

www.ibtesama.com/vb

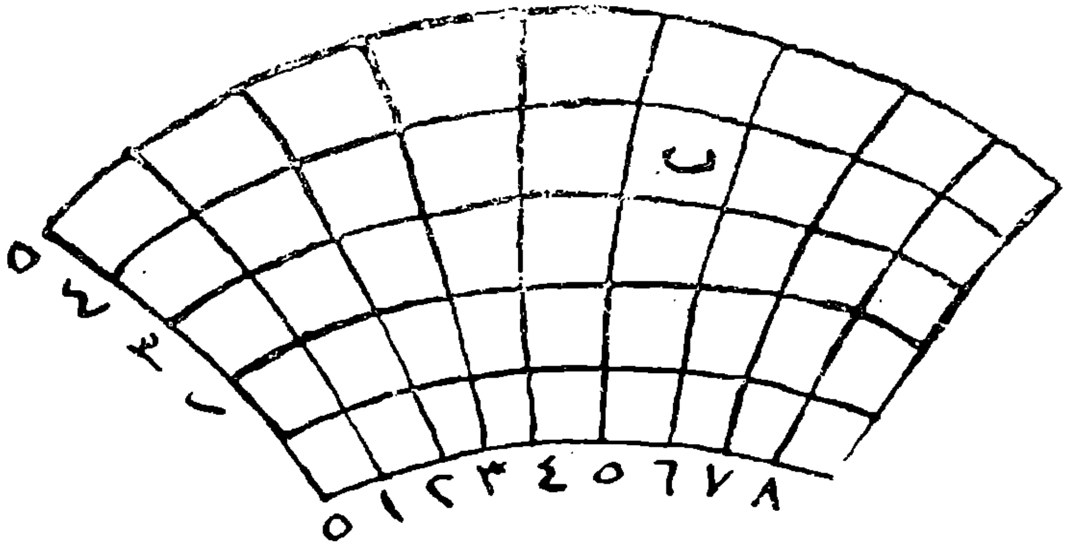
عشــر والشارع السادس أرقامــاً بين ١٥٠٠ و ١٦٠٠ ، حتى ولو لم تكن الأرقام المبـتدئة بـ ١٤٠ قـد استنفـدت . ولن يفيد ذلـك أغراضنا ، لأن هناك قفــزة مفاجـئة حين تنتقل مــن عمارة إلى أخــرى . أو لعلنا نحدد إحداثيــة الزمن بالطريقـة التالية : خــذ الزمن الذى ينقضى بــين مولدين متعاقــبين لشخصين يدعيان «سميث» وحــينئذ تكون للحادثة التى تقع بين مولدى سمــيث رقم ٣٠٠٠ ، وسميث الواحد بعد الثـلاثة آلاف إحداثية تقع بين ٣٠٠٠ و ٣٠٠١ ، والجزء الكسرى لإحداثيتها سيكون كسراً من السنة التى انقضت منذ ميــلاد سميث الثلاثة آلاف . (من الواضح أنه لن يكون قط ما يعادل عامــاً بين إضافتين متعاقبتين للعــائلة المؤلفة من أسماء سميث) وهذه الطريقة لتـحديد إحداثية الزمان محددة تمامــا ، ولكنها غير مقبولة بالنســبة لأغراضنا . إذ سيكون هناك قفزات مفــاجئة بين الحوادث التى تقع قبل مولد سميث مباشرة ، وبعــد مولده مباشرة بحيث لا تتغير إحداثيــة زمنك ؛ فى رحلتك المتصلة تغــيراً مســتمراً . ومن المفــترض - بغض النظر عن القــياس - أننا نعرف مــا تعنيه الرحلة المــتصلة . وحين يتغير وضــعك فى متصل «الزمان - مكان» باستمــرار ، فإن كل إحداثية من إحداثياتك الأربع ينبــغى أن تتغير باستمرار ، ولكن ، مــهما يحدث من تغيير ، فلابد أن يكون تغييــراً هادئاً ، بلا قفزات وهذا يفسر لنا «ما ليس» مسموحاً به فى تحديد الإحداثيات .

www.ibtesama.com/vb



ولنفتـرض - لشرح كل التغيـرات المشروعة فى إحـداثياتك - أنك أخذت قطعة كبيرة من المطاط الهندى الناعم . وفى أثناء حالتها المتماسكة قس عليهـا مربعـات صغيـرة كل منها ضلعه $\frac{1}{10}$ مـن البوصة فى كـافة الإتجاهات . ضع دبابيس صـغيرة فى أركـان المربعات تستطيع حـينئذ أن تأخذ كإحداثيـتين لواحد من هذه الدبابيس ، عدد الدبابيس الذى نمر بـه حـين نتـجه يميناً من دبـوس مـعين حتـى نصـل تحت الدبـــوس المذكور تمامـاً ، ثم عـدد الدبابيس الذى نمر بهـا صـاعـدين إلى هـذا الدبوس ، ولتـكن « م » فـى الشكـل هو الدبوس الذى نبــدأ به ، و «ب» هـــو الدبـوس الـذى سنحـدد لـه الإحـداثيتين و (ب) فـى العـمود الخـامس ، والصف الثالث . وهـكذا يكون إحداثيتـاه فـــى قطعة المطاط الهندى هما ٥ ، ٣ .

www.ibtesama.com/vb



والآن ، خذ قطعـة المطاط ، ومطها ، والوها كـما تشـاء . واجعل الدبابيس الآن فى الصـورة التى هى عليـها فى الشـكل الثانى . لم تعـد التقسيـمات الآن تمثل المسافات وفقا لأفكارنا المعـتادة ، ولكنها ما برحت تستطيع القيام بدور الإحداثيـات . وما زلنا نستطيع أن نأخذ (ب) على أن لها الإحداثيتين ٥ ، ٣ فى مـسطح المطاط ، وما زلنا نستطيع أن ننظر إلى قطعة المطاط على أنهـا سطح مستو على الرغم من أننا قـد لويناه فلم تعد سطحا مستويا بالمعنى الذى ألفناه ، مـثل هذه التشويهات المتصلة لا تؤثر فى شىء .

خـذ مثـلا آخر : بدلا من اسـتخـدام قضـيب من الصلب لتحـديد أحداثياتنا ، فلنستخدم ثعبانا حيا من السمك يتلوى طول الوقت . فلتكن المسـافة من ذيل ثعـبان السـمك إلى رأسـه هى رقم (١) من وجهـة نظر الإحداثيـات . أيا كان الشكل الذى يتخـذه هذا الكائن فى هذه اللحظة .

www.ibtesama.com/vb

ثعبان سمك متصل ، والتواءته مستمرة ومن ثم يمكن اتخاذه وحدتنا للمسافة فى تحديد الإحداثيات . ومنهج تحديد الإحداثيات - فيما عدا مطلب الاتصال - اتفاقى صرف ، ومن ثم فإن ثعبانا من السمك لا يختلف عن قضيب من الصلب .

ونحن ميالون إلى التفكير بأنه من المستحسن - للحصول على قياسات دقيقة حقا - أن نستخدم قضيبا من الحديد ، بدل ثعبان من السمك . وهذا خطأ ، لا لأن ثعبان السمك ينبؤنا بما كان من المعتقد أن يخبرنا به قضيب الصلب ، ولكن لأن قضيب الصلب لا يخبرنا حقا بأكثر مما يفعل ثعبان السمك فى وضوح . والمسألة ليست هى أن ثعابين السمك جامدة حقا ، ولكن المسألة هى أن قضبان الصلب تتلوى حقيقة . وقد يبدو ثعبان السمك فى حالة واحدة ممكنة من حالات الحركة - إنه جامد بالنسبة لمشاهد ما ، بينما قد يبدو له أن قضيب الصلب يتلوى كما يتلوى ثعبان السمك بالنسبة لنا تماماً ، ولكن شخصا يتحرك حركة مختلفة بالنسبة لهذا المشاهد وبالنسبة لنا ، قد يبدو له أن ثعبان السمك والقضيب يتلويان . وليس هناك ما يدعو إلى القول بأن هذا المشاهد مصيب وذاك المشاهد مخطىء . ففى مثل هذه المسائل ما يشاهد لا ينتمى إلى العملية الفيزيائية الملحوظة فحسب ، بل ينتمى أيضاً إلى موقف المشاهد . ولا تكشف قياسات المسافات والأزمنة كشفاً مباشراً عن صفات الأشياء المقيسة ، ولكنها تكشف عن علاقات الأشياء بالشخص الذى

www.ibtesama.com/vb

يقيس ، وهكذا ما تستطيع المشاهدة أن تخبرنا به عن العالم الفيزيائى ، أشد تجريداً مما كان معتقداً من قبل .

ومن المهم أن ندرك أن الهندسة - كما كانت تعلم فى المدارس منذ العصور اليونانية ، قد انقطعت عن الوجود بوصفها علماً منفصلا واندمجت الآن فى الفيزياء . وقد كانت الفكرتان الرئيسيتان فى الهندسة الأولية هما الخط المستقيم والدائرة . وما يبدو لك على أنه طريق المستقيم - توجد كل أجزائه الآن - قد تبدو لمشاهد آخر كطيران الصاروخ ، أو نوعا من المنحنى الذى تظهر أجزاؤه فى الوجود فى صورة متعاقبة . وتعتمد الدائرة على قياس المسافات ما دامت تتألف من جميع النقط الموجودة على مسافة معينة من مركزها . وقياس المسافات عبارة - كما سبق أن رأينا - عن مسألة ذاتية تعتمد على الطريقة التى يتحرك بها المشاهد . وإخفاق الدائرة فى أن تكون لها صحة موضوعية قد برهنت عليه تجربة ميكلسون - مورلى ، وعلى هذا تكون - بمعنى ما -- نقطة البداية لنظرية النسبية بأسرها . والأجسام الجامدة التى نحتاج إليها فى القياس ليست جامدة إلا بالنسبة لمشاهدين معينين ، ولكنها بالنسبة للآخرين ستغير باستمرار أبعادها جميعا . وخيالنا العنيد المقيد بالأرض هو الذى يجعلنا نفترض إمكان قيام هندسة منفصلة عن الفيزياء .

وهذا هو السبب الذى يجعلنا لا نتردد فى إضفاء دلالة فيزيائية على إحداثياتنا منذ البداية . وقد كان من المفترض - سابقاً - أن الإحداثيات

www.ibtesama.com/vb

المستخدمة فى الفيزياء ، عبارة عن مسـافات تم قياسها بعناية ، وقد تحققنا الآن من أن هذه لعناية لا يحسب لها حساب فى البداية ، وإنما تطلب فى مرحلة متأخرة . وليست إحداثيـاتنا الآن أكثر من طريقة منتظمة لتصنيف الحوادث ، غـير أن الرياضـيات ، تزودنا - فى منهج الكمـيات الممـتدة tensors - بتسنيك قوى قوة مائلة بحيث نستطيع أن نستخدم الإحداثيات المحددة بهذه الطريقة المهملة ظاهرياً ، فى كفـاءة ، وكأننا استخدمنا جهاز القياس الدقيق جداً فى الوصول إليها . ومـيزة الطريقة الجزافية فى البداية هى أنها تجعلنا نتـحاشى وضع فروض فيزيائية سـريعة ، وهى فروض لا سبيل إلى تحاشيها إذا افترضنا أن لإحداثياتنا دلالة فيزيائية أصلية معينة .

ولكنا بحاجـة إلى محاولة التقـدم . ونحن على جهل بكل الظواهر الفيـزيائية التى تدخل فى نطاق المشاهدة . فنحـن نعرف أشياء مـعينة : نعرف أن الفـيزياء النيـوتونية القديمة قـريبة جداً من الـدقة عندما نخـتار إحداثياتنا بطريقة معينة ، ونحن نعـرف أن نظرية النسبية الخاصة مازالت أشد قـرباً من الدقة للإحداثيات المناسـبة ، ومن هذه الحقـائق نستطيع أن نستنبط أشياء معينة من إحداثياتنا الجديدة التى تبدو - فى قياس منطقى - بوصفها مسلمات النظرية الجديدة .

ومن مثل هذه المسلمات نأخذ ما يلى :

١- أن الفاصل بين حادثتين متجاورتين يأخذ شكلا عاماً ، كالشكل الذى استخدمه ريمان للمسافات .

www.ibtesama.com/vb

٢- أن كل جسم يشير على خط جيوديسى فى متصل الزمان - مكان اللهم إلا من حيث إن القوى التى لا تنتمى إلى الجاذبية لا تؤثر عليه .

٣- أن شعاع الضوء يشير فى خط جيوديسى بحيث يكون الفاصل بين أى جزءين فيه هو صفر .

وكل مسلمة من هذه المسلمات تتطلب شرحاً .

وتقتضى مسلمتنا الأولى أنه إذا كانت حادثتان قريبتان إحداهما من الأخرى (ولكنهما ليستا بالضرورة خلاف ذلك) فهناك فاصل بينهما يمكن أن يحسب من الفروق القائمة بين إحداثياتهما بمعادلة كالمعادلة التى عرضناها فى الفصل السابق . وهذا معناه أن نأخذ مربعات ونواتج فروق الإحداثيات ، وتضاعفها بمقادير مناسبة (والتى تتغير عامة من مكان إلى آخر) ثم نضيف الناتج معاً . والمجموع الذى نحصل عليه هو مربع الفاصل . نحن لا نفترض مقدماً أننا نعرف المقادير التى ينبغى أن تضاعف بها المربعات والنواتج ، فهذا ما سنكتشفه بملاحظة الظواهر الفيزيائية . ولكننا نعرف - لأن رياضيات ريمان قد بينت ذلك - أننا نستطيع داخل أية منطقة صغيرة من «متصل المكان - زمان» أن نختار الإحداثيات بحيث يكون للفاصل الشكل الخاص تماماً الذى نجده فى نظرية النسبية الخاصة . وليس من الضرورى لتطبيق النظرية الخاصة على

www.ibtesama.com/vb

منطقة محدودة ألا تكون ثمة جاذبية فى المنطقة ، بل يكفى أن تكون شدة الجاذبية واحدة - من الوجهة العملية - فى المنطقة كلها . . وهذا يمكننا من تطبيق النظرية الخاصة داخل أية منطقة صغيرة . أما مدى ما ينبغى أن تكون عليه من الصغر فيتوقف على المناطق المجاورة ، فعلى سطح الأرض ينبغى أن تكون من الصغر بحيث يمكن إهمال انحناءة الأرض . وفى الفضاء الممتد بين الكواكب ، ينبغى أن تكون صغيرة بما يكفى أن يجعل جاذبية الشمس والكواكب ثابتة ثباتاً معقولا فى المنطقة كلها وفى الفضاء المنبسط بين النجوم . قد تكون هائلة - فلتكن مثلا نصف المسافة من نجم إلى النجم الذى يليه - دون إدخال ضروب عدم الدقة التى يمكن قياسها .

وهكذا نستطيع - على مسافة بعيدة من المادة الجاذبة - أن نختار أحداثياتنا بحيث نحصل على ما يشبه المكان الإقليدى شبهاً كبيراً ، وهذه طريقة أخرى لكى نقول إن نظرية النسبية الخاصة قابلة للتطبيق . وفى جوار المادة - على الرغم من أننا ما زلنا نجعل مكاننا قريباً من المكان الإقليدى فى منطقة صغيرة جداً - فإننا لا نستطيع أن نفعل ذلك خلال أية منطقة تتنوع فيها الجاذبية تنوعاً محسوساً - أو على الأقل إذا فعلنا ذلك ، فعلينا أن نتخلى عن الرأى الذى عبرنا عنه فى المسلمة الثانية من أن الأجسام المتحركة تحت تأثير قوى جاذبية تتحرك فى خطوط جيوديسية فحسب .

www.ibtesama.com/vb

وقد رأينا الخطوط الجيوديسيــة على سطح ما هى أقصر خط يمكن أن يرسم على السطح من نقطة إلى أخرى ؛ فمثـلا الخطوط الجيوديسية على الأرض عبارة عن دوائر عظمى ، وحين نأتى إلى «مـتصل المكان - زمان» فإن الرياضيات هى نفسها ، بيد أن الشروح اللفظية هى التى تختلف نوعاً ما ، فإن نـظرية النسبية العـامة ، الحوادث المتجـاورة هى التى يكون لها وحدها فاصل محدد مسـتقل عن الطريق الذى نسلكه للانتقال من الواحدة إلى الأخرى . أمـا الفاصل بين الحوادث المتبـاعدة فيـتوقف على الطريق الذى نسلكه ، ولابد أن يحـسب بتـقسـيم الطريق إلى عدد من الأجـزاء الصغيرة ثم بإضـافة الفواصل الخاصة بهذا العدد من الأجـزاء الصغيرة . فإذا كـان الفاصل «مكانيـاً» لن يستطيع الجـسم أن ينتقل مـن حادثة إلى أخـرى ، وعلى هذا فإننا حـين نكون بصدد الطريق الـذى تتحـرك فيـه الأجســام ، نقتـصر على الفـواصل «الزمـانية» ، وسيـبدو الفـاصل بين حادثتين متجاورتين حين يكون «زمانياً » على أنه الزمن المنقضى بينهما فى نظر ملاحظ سـافر من إحدى الحـادثتين إلى الأخرى . وهكذا سـيحكم الشـخص الذى ينتـقل من حـادثة إلـى الأخرى عـلى الفـاصل كله بين الحادثتين علـى أنه ما تظهره سـاعاته على أنه الوقت الذى يسـتغـرقه فى ر-لتـه . وسيكون هذا الـوقت أطول بالنسبـة لبـعض الطرق . وأقصـر بالنسبة لبعضها الآخر . وكلمـا كان سفر الرجل أبطأ ، أعتقد أن الوقت الذى استغـرقه فى رحلته أطول . ولكن ينبغى أن يؤخـذ هذا القول على

www.ibtesama.com/vb

أنه جد سخافة ، فلست أقول إنك حين تسافر من لندن إلى إدنبرة فسيكون الوقت الذى تستغرقه أطول إذا سافرت بسرعة أبطأ ، ولكننى أقول شيئاً أغرب من ذلك كثيراً . إننى أقول إنك إذا غادرت لندن فى الساعة العاشرة صباحاً ووصلت إلى إدنبرة فى الساعة السادسة والنصف بعد الظهر - بتوقيت جرينتش ، كلما كان سفرك أبطأ كان الوقت الذى تستغرقه أطول إذا حكمت على الزمن بساعتك وهذه قضية مختلفة أشد الاختلاف . فإنه من وجهة نظر شخص على الأرض ، تستغرق رحلتك ثمان ساعات ونصفاً . ولكن ، لو أنك كنت شعاعاً من الضوء يدور حول النظام الشمسى ، ويبدأ من لندن فى الساعة العاشرة صباحاً ، وينعكس من المشترى إلى زحل ، وهكذا دواليك . حتى ترتد فى النهاية إلى أدنبرة ، ووصلت هناك فى الساعة السادسة والنصف مساء ، فسوف تحكم بأن الرحلة لم تستغرق أى زمن على الإطلاق . وإذا سلكت أى طريق دائرى ، أمكنك أن تصل فى الموعد المحدد لسفرك بسرعة ، فكلما كان طريقك أطول ، كان الوقت الذى تحكم بأنك قطعته أقل ، وسيكون تقليل الزمان مستمراً كلما اقتربت سرعتك من سرعة الضوء . والآن ، أقول إنه حين يتحرك جسم ، وحين يترك لنفسه ، فإنه يختار الطريق الذى يجعل الزمن بين مرحلتين من مراحل الرحلة أطول ما يمكن . وإذا انتقل من حادثة إلى أخرى بأى طريق آخر ، فإن الزمن ، كما يقيسه بساعاته الخاصة لابد أن يكون أقصر . وهذه طريقة تؤدى إلى القول بأن

www.ibtesama.com/vb

الأجسام إذا تركت لنفسها فإنها تقوم برحلاتها بأبطأ ما فى وسعها ، إنه نوع من قانون الخمول الكونى وتعبيره الرياضى هو أن الأجسام تنتقل فى خطوط جيوديسيه يكون فيها الفاصل الإجمالى بين أية حادثتين فى الرحلة ، أكبر من أى طريق بديل . (وترجع حقيقة أنه أكبر وليس أقل إلى أن نوع الفاصل الذى نحن بصدده أشد مماثلة للزمان منه للمسافة) وإذا استطاع شخص - مثلا - أن يغادر الأرض، ويسافر فترة، ثم يعود ، فإن الزمن المنقضى بين رحيله وعودته سيكون أقل إذا سجلته ساعات الأرض : فالأرض فى رحلتها حول الشمس تختار الطريق الذى يجعل زمن أى جزء من رحلتها - مقيساً بساعاتها - أطول من أى زمن ، تحكم به الساعات التى تتحرك فى طريق مختلف . وهذا ما نعنيه بقولنا إن الأجسام إذا تركت لنفسها فإنها تتحرك فى خطوط جيوديسية فى متصل الزمان - مكان .

ومن المهم أن نتذكر أن متصل «الزمان - مكان» ليس من المفروض أن يكون إقليديًا . ومن حيث إن الأمر يتعلق بالخطوط الجيوديسية فإن هذا يؤدى إلى متصل «الزمان - مكان» أشبه بالريف الجبلى . فإلى جوار قطعة من المادة ، هناك تل من «الزمان - مكان» ، وهذا التل يزداد انحداراً كلما اقترب من القمة ، كعنق زجاجة الشمبانيا ، وينتهى إلى مجرد هوة . والآن ، فإنه وفقاً لقانون الخمول الكونى الذى ذكرناه آنفاً - فإن جسما يأتى إلى جوار التل، لن يحاول أن يصعد مباشرة إلى القمة ،

www.ibtesama.com/vb

ولكنه سيدور حول التل . هذه هى ماهيــة رأى أينشتين فى الجاذبية . فما يفعله جــسم ما ، فإنما يفعله بســبب طبيعة «متــصل الزمان - مكان» فى المنطقة المجاورة له ، لا بسبب قوة غامضة تنبعث من جسم بعيد .

وربما استطاعت هذه المماثلة أن تجعل هذه النقطة واضحة . فلنفترض أن عدداً من الرجال - يسيرون فى ليلة مظــلمة - وقد حملوا المصابيح فى أيديهم فى اتجاهات شــتى عبر سهــل متسع الأرجاء ، ولنفــترض أنه فى جزء من هذا السهل هناك تل قد وضعت على قــمته منارة متوهجة . وهذا التل هو كمــا وصفناه - يزداد انحــداراً كلما ارتفع نحــو القمــة ، وينتهى بهاوية . وســأفتــرض أن هناك قرى مــتناثرة على هذا التل ، وأن هؤلاء الرجال الذين يحــملون المصابيح يذرعون هذه القــرى ذهاباً وإيابا . ولقد شقت المسالك لتــبين أسهل طريقة للانتقــال من قرية إلى أخرى - وهذه المسالك أقل أو أكثر انحناء ، حتى نتــحاشى التوغل فى التل ، وستكون أشد حــدة فى الإنحناء حين تمر بالقرب من قمــة التل ، منها حين تبتــعد عنه مــسافة مــا ، ولنفتــرض الآن أنك تلاحظ هذا كله - بأقصــى ما فى وسعك - من مكان مرتفع فى بالون، بحيث لا تستطيع أن ترى الأرض، وإنما ترى المصابيح والمنارة فحسب ، وحينئذ لن تعرف أن هناك تلا ، أو أن هناك منارة فــوق قمتــه ، بل ستــرى أن الناس يتحــولون عن الطريق المستقــيم حــين يقتربون مــن المنارة ، وكلما ازداد اقــترابهــم ازداد تحــولهم عنها . ومن الطبيعى أن تعزو ذلك إلى تأثيــر المنارة ، وربما اعتقدت أنها

www.ibtesama.com/vb

ساخنة جداً ، وأن الناس يخشون الاحتراق منها ، ولكنك إذا انتظرت إلى ضوء النهار ، فسوف ترى التل ، وستجد أن المنارة تميز قمة التل فحسب ، وأنها لا تؤثر على حاملى المصابيح أى تأثير .

وفى هذا التشبيه ، تناظر المنارة الشمس ، ويناظر حاملوا المصابيح الكواكب والشهب ، والمسالك تناظر أفلاك الكواكب والشهب ، وظهور ضوء النهار يناظر مجيء أينشتين . ويقول أينشتين إن الشمس على قمة تل ، كل ما فى الأمر أن هذا التل فى متصل «الزمان - مكان» لا فى المكان وحده . (وأنا أنصح القارىء ألا يصور لنفسه هذا القول ، لأنه مستحيل) . وكل جسم يتخذ فى كل لحظة - أيسر طريق مفتوح له ، نظراً لوجود التل ، فإن أيسر طريق ليس خطا مستقيماً ، وكل قطعة صغيرة من المادة قائمة على قمة تلها الصغير ، كالديك الواقف على كومته من الروث . وما نسميه قطعة كبيرة من المادة عبارة عن قمة تل كبير . والتل هو ما نعرفه ، أما قطعة الماء الموجودة على القمة فنفترضها إيثاراً للراحة . وربما لم تكن ثمة حاجة حقيقية لافتراضها ، وكنا نستطيع أن نكتفى بالتل وحده ، لأننا لن نستطيع أن نصعد إلى قمة تل أى شخص آخر ، تماماً كما لا يستطيع الديك الشرس أن يقاتل الطائر المثير على وجه الخصوص - الذى يراه فى المرآة .

ولقد أعطيت وصفاً كيفياً فحسب لقانون أينشتين فى الجاذبية ، أما أن أعطى صيغتها الكمية المضبوطة ، فأمر محال لا أسمح به لنفسى دون

www.ibtesama.com/vb

مـزيد من الرياضة . وأطرف نـقطة فى هذه الصيـغـة هى أنها لا تجـعل القانون نتيجة للتأثير عن بعد، فالشمس لا تؤثر بأية قوة على الكواكب . وكما أن الهندسة قد أضحت فـيزياء ، فكذلك ، أصبحت الفيزياء بمعنى ما - هندسة . ولقد أصبح قانون الجاذبية هو القانون الهندسى القائل بأن كل جسم يسلك أسـهل سبيل من مكان إلى مكان ، غيـر أن هذا السبيل يتأثر بالتلال والوديان التى يلتقى بها فى الطريق .

ولقد افتـرضنا أن الجسم - موضع البحث - لا تؤثـر عليه إلا قوى الجاذبية فحسب ، ونحن مهتـمون فى الوقت الحاضر بقانون الجاذبية ، لا بتأثيرات القوى الكهرومغناطيسية ، أو القوى الموجودة بين جسيمات الذرة الثانوية وقد بذلت محاولات عديدة لإدخال تلك القوى جميعاً داخل إطار نظرية النسـبيـة العـامة على يد أينشـتين نفـسه ، وعلى يد فـيل Weyl وكالوتسا Kaluza وكلاين Klain وكثيرين غـيرهم ، بيد أن واحدة من هذه المحـاولات لم تكن مرضـيـة تماماً . ويمكن أن نـتجـاهل فى الوقت الحاضـر - هذه الأعمال ، لأن - الكواكب ليست مـوضوعاً - بوصفـها وحدات كلية - لقوى كهرومغناطيسية أو ذرية ثانوية يمكن تقديرها ؛ وإنما يجب أن يحسب حـساب الجاذبـية وحدها فى حـساب حركـاتها ، وهى الحركات التى تعرضنا لهذا فى هذا الفصل .

ومسلمتنا الثالثة القائلة بأن شعاع الضوء يتحرك بحيث يكون الفاصل بين جزئين منه هو صفر ، هذه المسلمـة لها ميزة وهى أنها يمكن ألا تطلق

www.ibtesama.com/vb

على المسافات «الصغيرة» فحسب . فإذا كان كل جزء صغير من البرهة هو صفر ، فإن مجموع الأجزاء جـميعاً يساوى صفراً ، وهكذا تكون الأجزاء البعيـدة من نفس شعاع الضوء ذات فاصل مقـداره صفر . والطريق الذى يسلكه شعاع الضوء هو خط جيوديسى أيضاً ، وفقاً لهذه المسلمة . وهكذا نجد لدينا الآن وسيلتين تجريبيتين للكشف عما تعنيه الخطوط الجيوديسية فى متصل «الزمان - مكان» ، هما أشعـة الضوء ، والأجسام التى تتحرك فى حرية . ومن بين الأجسام ذات الحركة المتحررة تدخل جميع الأجسام التى ليست خاضعة - بوصفها وحدات كليـة - لقوى كهرومغناطيسية أو ذرية ثانوية يمكن تقديرها ، أعنى الشمس والنجوم والـكواكب والأقمار التابعة وكذلك الأجـسام الساقطة على الأرض ، حين تقـع على أقل تقدير - فى فـراغ . وأنت حين تقـف على الأرض ، تكون خـاضـعـاً لقـوى كهـرومغناطيسـية : ذلك أن الإلكترونـات والبرتونات المجاورة لقـدميك تمارس قوة «طاردة» على قدميك كافـية للتغلب على جاذبية الأرض . وهذا ما يمنعك من السقوط خـلال الأرض ، التى ، وإن تكن تبدو صلبة ، إلا أنها فى معظمها مكان خاو .

www.ibtesama.com/vb

الفصل التاسع

براهين على قانون أينشتين للجاذبيَة

الأسباب التى تدعو إلى قبول قـانون أينشتين للجاذبية بدلا من قانون نيوتن ، تجـريبيــة فى جزء منها ، مـنطقية فى جـزئها الآخـر ، وسنبدأ بالجزء التجريبى .

يعطى قانون أينشتين للجاذبية نفس النتـائج التى يعطيها قانون نيوتن عندمـا يطبق علـى حـسـاب أفـلاك الكواكب وتوابعـهـا . ولـو لم تكن كذلك ، لما أمكن أن تكون صادقة ، ما دامت النتائج المستنبطة من قانون نيوتن قد وجد أنهـا مضبوطة بعد التحقق من صـدقها بالمشاهدة . وحين نشر أينشـتين قانونه الجديد لأول مـرة عام ١٩١٥ ، لم تكن غير واقـعة تجريبية واحدة يستطيع أن يثبت بها أن نظريته أفضل من نظرية نيوتن ، وهذه الواقعة هى ما يسمى حركة نقطة رأس عطارد .

ويدور الكوكب عطارد - كغيره من الكواكب السيارة - حول الشمس فى قطع ناقص بحيث تكون الشمس فى إحـدى البؤرتين . ولهذا فإنه فى بعض النقط فى فلكه يكون أقرب إلى الشـمس منه فى النقاط الأخرى . والنقطة التى يكون فيها أقـرب ما يكون إلى الشمس تسمى «نقطة الرأس» Perihelion ، وقد وجـد بطريق المشاهـدة - من إحدى المناسـبات حين

www.ibtesama.com/vb

يكون عطارد أقرب ما يكون إلى الشمس حتى المناسبة التالية - وجد أن عطارد لا يدور مرة واحدة تماماً حول الشمس ، بل أكثر قليلا .. وهذا الانحراف طفيف جداً . إذ يصل إلى زاوية مقدارها اثنتان وأربعون ثانية كل قرن من الزمان . ولما كان عطارد يدور حول الشمس ما يزيد على أربعمائة مرة كل قرن ، فلابد أن يتحرك بما يزيد على $\frac{١}{١٠}$ ثانية من الزاوية عن الدورة الكاملة لكى يصل من نقطة الرأس ، إلى نقطة الرأس التالية . وقد حار الفلكيون فى هذا الانحراف الطفيف جداً عن نظرية نيوتن . وكان هناك تأثير محسوب يرجع إلى اضطرابات تحدثها الكواكب الأخرى ، بيد أن هذا الانحراف الطفيف كان المتبقى بعد حساب هذه الاضطرابات . وقد فسرت نظرية أينشتين هذا المتبقى تفسيراً مضبوطا . وهناك تأثير مماثل فى حالة الكواكب الأخرى ، بيد أنه أقل ، وأصعب على المشاهدة . ومنذ أن نشر أينشتين قانونه الجديد ، لوحظ أن هذا التأثير أيضاً بالنسبة للأرض ، وبدرجة معقولة من اليقين بالنسبة للمريخ . وكان تأثير نقطة الرأس هذا هو - فى أول الأمر - الميزة التجريبية الوحيدة التى تفوق بها أينشتين على نيوتن .

وكان نجاحه الثانى أشد من ذلك إثارة . فالضوء فى الفراغ ينبغى أن يتحرك دائماً - وفقاً للرأى التقليدى - فى خطوط مستقيمة ، ولما لم يكن مؤلفاً من جسيمات مادية . فينبغى ألا يتأثر بالجاذبية ، وأياً كان الأمر ، فقد كان من الممكن ، بدون خروج خطير على الأفكار القديمة - أن نقبل

www.ibtesama.com/vb

أن ينحرف الضوء - فى عبوره قرب الشـمس - عن طريقه المستقيم بنفس الدرجة التى ينحرف بها لو أنه كان مؤلفاً من جسيمات مادية . وقد ذهب أينشتين - على أية حـال - إلى أن الضوء ينبغى أن ينحـرف ضعف هذا الانحراف ، مسـتنتجاً ذلك من قانونه فى الجـاذبية . وهذا معناه ، لو أن الضوء المـنبعث من نجم قـريباً جداً من الـشمس ، فإن أينشـتين يرى أن الشعـاع المنبعث من النجم سـيتحـول خلال زاوية مقـدارها أقل من ثانية وثلاثـة أرباع الثـانية . وكان خـصـومه على استـعداد لقـبول نصف هذا المقدار . ولكن ليس من الممكن أن نرى كل يوم نجماً يكاد يكون فى خط واحد مع الشمس ، وإنما لا يكون ذلك ممكناً إلا فى أثناء كسوف كلى ، بل إنه قد لا يكون ممكناً فى هذه الحالة ، إذ قد لا تكون هناك نجوم لامعة فى الموقع الصـحيح . وقـد ذكر إدنجتـون أن أفضل يوم فى الـعام - من وجهة الـنظر هذه - هو يوم ٢٩ مايو ، إذ يوجد حينذاك عـدد من النجوم المتألقة القـريبة من الشمس . وحدث من قبـيل حسن الحظ الذى لا يكاد يصـدق كسـوف كلى للشمـس يوم ٢٩ سنة ١٩١٩ . وصورت بعـثتـان بريطانيتان النجوم القريبـة من الشمس فى أثناء الكسوف ، وأيدت النتائج تنبؤ أينشـتين . واقتنع بعض الفلكيين الذين ظلوا يرتابون فيـما إذا كانت الاحتـياطات الكـافية قـد اتخذت لضـمان الدقـة . اقتنعـوا حين أعطت مشاهداتهم الخاصة فى كسوف تال لنفس النتـيجة تماماً . وقد أكدت نتائج المشاهدات فى عديد من الحالات التاليـة من الكسوف تقدير أينشتين الذى أصبح الآن مقبولا من الجميع .

www.ibtesama.com/vb

والاختبار التجريبى الثالث مؤيد فى جملته لأينشتين ، بيد أن المقادير - موضع الاختبار - صغير إلى درجة أنه من الممكن بصعوبة قياسها فحسب ، ولهذا فإن النتيجة ليست حاسمة . وقبل أن نشرح هذا التأثير ، لابد من شروح تمهيدية قليلة . يتألف طيف عنصر من العناصر من عدد معين من خطوط الضوء ذات شتى الألوان التى تنبعث من العنصر حين يتوهج ، ويمكن فصلها بمنشور . وهذه الخطوط هى نفسها (على وجه التقريب الشديد) سواء أكان العنصر على الأرض ، أم على الشمس ، أم على نجم من النجوم . وكل خط عبارة عن ظل محدد من اللون ، بموجة محددة ذات طول معين . والموجات الأطول تتجه نحو الطرف الأحمر للطيف ، والأقصر نحو الطرف البنفسجى . وحين يكون مصدر الضوء متحركا نحوك فإن أطول الموجات الظاهرة تزداد قصراً ، كما تزداد سرعة موجات البحر عندما تكون مبحراً ضد الريح . وحين يكون مصدر الضوء متحركا بحيث يبتعد عنك ، فإن أطول الموجات الظاهرة تزداد طولا ، للسبب عينه . وهذا يمكننا من معرفة ما إذا كانت النجوم تتحرك نحونا ، أو بعيداً عنا . ذلك أنها إذا كانت تتحرك نحونا ، فإن خطوط الطيف جميعاً لعنصر ما ، تتحرك قليلا صوب البنفسجى ، وإذا كانت تتحرك بعيداً عنا ، فإن تلك الخطوط تتحرك صوب الأحمر . وقد نلحظ ذات يوم تأثيراً مناسباً مماثلا للصوت ، فإذا كنت فى محطة ، وأقبل قطار وهو يصفر ، فإن نغمة الصفارة تبدو أشد حدة حين يقترب منك القطار ، منها حين يكون قد مر . ومن المحتمل أن كثيرا من الناس يعتقدون أن النغمة

www.ibtesama.com/vb

قد تغيرت «حقيقة» ، والواقع أن التغيير الذى تسمعه راجع إلى أن القطار كان يقترب أولا ، ثم يبتعد . أما بالنسبة لراكبى القطار ، فليس ثمة تغيير فى النغمة . وليس هذا هو التأثير الذى يهتم به أينشتين . فالمسافة بين الشمس والأرض لا تتغير كثيراً ، ويمكن أن ننظر إليها - بالنسبة لأغراضنا الحالية - على أنها ثابتة ويستنتج أينشتين من قانونه فى الجاذبية أن أية عملية دورية تأخذ مكانها فى ذرة ما من الشمس (التى تعد جاذبيتها شديدة جداً) ينبغى - كما تقاس بساعاتنا - أن تحدث بسرعة أبطأ قليلا من السرعة التى تحدث بها فى ذرة مماثلة على الأرض . و «الفاصل» المتعلق بالموضوع سيكون هو نفسه بالنسبة للشمس والأرض على السواء ، غير أن نفس الفاصل فى مناطق مختلفة لا يناظر نفس الوقت تماماً ، وهذا راجع للطبيعة «الجليلة» التى يتسم بها متصل «المكان - زمان» وهو الذى يؤلف الجاذبية . وبالتالى . فإنه لابد لأى خط معين فى الطيف - عندما يأتى الضوء من الشمس - أن يبدو لنا أقرب قليلا إلى الطرف الآخر للطيف ، منه حين يكون قادماً من مصدر على الأرض . والتأثير الذى نتوقعه ضئيل جداً - ضئيل جداً إلى درجة أن عدم اليقين من وجوده أو عدم وجوده ما برح قائماً . تتنبأ نظرية أينشتين بتأثير مماثل لكل نجم ، غير أن الصعوبات التكنيكية لقياس هذا التأثير عظيمة إلى درجة أننا بعد أربعين سنة من تجميع المشاهدات مازلنا لا نستطيع التأكد من وجوده . . . .

www.ibtesama.com/vb

ولم تكتشف منذ ذلك الحين - أية اختلافات قابلة للقياس بين نتائج قانون أينشتين ونتائج قانون نيوتن ، على الأقل ، فيما يتعلق بالنظام الشمسى . بيد أن الاختبارات التجريبية السابقة كافية لإقناع الفلكيين بأنه حيث يختلف نيوتن وأينشتين على حركة الأجرام السماوية ، فإن قانون أينشتين هو الذى يعطى النتائج الصحيحة . وحتى لو قامت الأسس التجريبية المؤيدة لأينشتين وحدها ، فإنها مع ذلك حاسمة . وسواء أكان قانونه يمثل الحقيقة المضبوطة تماماً أم لا ، فإنه بكل تأكيد أقرب إلى الدقة من قانون نيوتن ، وإن تكن ضروب عدم الدقة فى قانون نيوتن ضئيلة كلها إلى أقصى حد .

غير أن الاعتبارات التى قادت فى الأصل أينشتين إلى قانونه لم تكن من هذا النوع التفصيلى . وحتى النتيجة الخاصة بنقطة رأس الكوكب عطارد ، التى أمكن التحقق من صدقها فى الحال بوساطة المشاهدات السابقة ، لا يمكن استنتاجها إلا بعد اكتمال النظرية . كما أنها لا يمكن أن تكون أى جزء من الأسس الأصلية لابتكار مثل هذه النظرية . فقد كانت هذه الأسس ذات طابع منطقى أشد تجريداً . ولا أعنى بذلك أنها لم تكن مؤسسة على حقائق مشاهدة ، كما لا أعنى أنها كانت تهويمات «قبلية a priori » كالتهويمات التى انغمس فيها الفلاسفة فى عصور سابقة ، وإنما ما أعنيه هو أنها مشتقة من سمات عامة معينة

www.ibtesama.com/vb

تتصف بهـا التجـربة الفيزيائيـة ، سمات بينت أن نـيوتن لابد أن يكون مخطئاً ، وأن قانوناً كقانون أينشتين «يجب» أن يحل محله .

والحجج المؤيدة لنسبية الحركـة - هى كما رأينا فى الفصول الأولى - حاسمة تماماً . ففى الحياة اليومية ، عندما تقول إن شيئاً ما يتحرك ، فإننا نعنى أنه يتحـرك بالنسبة للأرض ، وحين نتعـرض لحركات الكواكب . فإننا ننظر إليها بوصـفها متحركة بالنسبـة للشمس . أو لمركز كتلة النظام الشمسى نفسه يتحرك ، فإننا نقـصد أنه يتحرك بالنسبة للنجوم . وليست هناك واقعة فيزيائية يمكن أن نطلق عليه اسم «الحركة المطلقة»، ومن ثم ، ينبغى أن تعنى الفـيزياء بالحركات النسـبية ، مادامت هذه الحـركات هى النوع الوحيد الذى يحدث .

سنأخذ الآن نسبية الحركة فى ارتباطهـا بالواقعة التجريبية التى مؤداها أن سرعة الضوء هى نفـسها بالنسبة لجسم «أو بالنسـبة لآخر ، أياً كانت حركـة هذين الجسمين . وهذا يؤدى بنا إلى نسـبية المسـافات والأزمنة . وهـذا بدوره يبـين أنه لا وجــود لواقـعة فـيزيائيـة مـوضوعـية يمكن أن تـسمـى «المسافة بـين جسمين فـى زمن معين » ، ما دام كل مـن الزمان والمسافـة سيعـتمد علـى المشاهد . وعلى هذا فإن قـانون نيوتن للجـاذبية متهـافـت مـن الناحية المنطقيـة ، مـادام يستخدم عبـارة «المسافة فى زمن معين» .

وهذا يبين لنا أننا لا نستطيع أن نظل قانعين بنيوتن ، ولكنه لا يبين

www.ibtesama.com/vb

لنا ماذا نستطيع أن نضع مكانه . وهنا تتدخل عـدة اعتبارات ، فلدينا فى المقام الأول ما يسمى «مساواة كـتلة الجاذبية والقصور الذاتى» ، وهذا يعنى الآتى : عندما تستخـدم قوة معينة[1] للتأثيـر على جسم ثقـيل ، فإنك لا تعطيه من السرعة ما تعطية لجسم خـفيف ، ما يسمى كتلة القصور الذاتى للجـسم inrtial تقـاس بمقدار القـوة المطلوبة لإحـداث سـرعة مـعـينة . و«الكتلة» - فى نقطة مـعينة عـلى سطح الأرض - تتناسب مع «الوزن» . ومـا يقاس بالموازين هو الكتلـة ، لا الوزن والوزن يعرف بأنه القـوة التى تجذب بهـا الأرض الجسم . وهذه القوة أعظم عند القطـبين منها عند خط الأستواء ، لأن دوران الأرض عند خط الاستواء يـحدث قوة طاردة مركزية مضادة للجاذبية إلى حـد ما . وقوة جذب الأرض أعظم أيضا على سطح الأرض منها على ارتفاع كـبير أو فى قاع منجم شـديد العمق . ولا تظهر الموازين شـيئـاً من هذه التنوعات ، لأنهـا تؤثر على الأوزان المسـتخـدمة تأثيرها على الجسم الموزون : ولكنها تظهر إذا استـخدمنا ميزاناً زنبركياً ، أما الكتلة فلا تتغير خلال هذه التغيرات فى الوزن .

---

(١) على الرغم من أن «القوة» لم تعد واحدة من التصـورات الأساسية فى علم الديناميكا بـل مجـرد طريـقة مريحـة للكلام ، فإنه مازال من الممكن اسـتخدامـها كعـبارتى «شـروق الشمس» «وغـروب الشمس» على شرط أن نكون مـدركين لما نعنيه . ذلك أن الأمر يتطلب فى كثير من الأحايين تعبـيرات ملتوية جدا لتحاشى كلمة (قوة) .
المؤلف

www.ibtesama.com/vb

وتعرف الكتلة الجاذبة تعريفا مختلفاً . وهى قابلة لمعنيين : فقد تعنى(١) الطريقة التى يتجاوب بها جسم ما فى موقف تكون فيه الجاذبية معروفة الشدة ، مثل سطح الأرض أو سطح الشمس ، أو قد تعنى(٢) شدة القوى الجاذبة التى يحدثها الجسم ، كأن تحدث الشمس قوى جاذبة أقوى مما تحدثه الأرض ، ويقول نيوتن إن قوة الجاذبية بين جسمين تتناسب مع حاصل ضرب كتلتهما . فلننظر الآن فى جذب الأجسام المختلفة لجسم واحد بعينه، وليكن الشمس، فى هذه الحالة تجتذب الأجسام المختلفة بقوى تتناسب مع كتلتها ، وتحدث - من ثم ، نفس السرعة فيها جميعاً . وهكذا إذا كنا نقصد «الكتلة الجاذبة» بالمعنى (١) ، أى الطريقة التى يتجاوب بها الجسم مع الجاذبية ، فإننا نجد أن «مساواة كتلة القصور الذاتى وكتلة الجاذبية» - التى تبدو شيئاً هائلا - وقد استحالت إلى هذا : إنه فى موقف جاذبى معين ، تسلك الأجسام جميعا سلوكا واحداً بعينه وقد كان هذا الكشف - بالنسبة لسطح الأرض - من أول الكشوف التى قام بها جاليليو . وكان أرسطو يعتقد أن الأجسام الثقيلة تسقط بسرعة أكبر من الأجسام الخفيفة . وأثبت جاليليو أن الأمر ليس كذلك إذا حذفت مقاومة الهواء . فالريشة تسقط - فى الفراغ - بسرعة كتلة من الرصاص . أما فيما يتعلق بالكواكب فقد كان نيوتن هو الذى أقر الحقائق المتناظرة . فالشهاب الذى له كتلة صغيرة جداً «يعانى نفس السرعة - إذا كان على مسافة معينة من الشمس - متجها نحو الشمس ، التى يعانيها كوكب على نفس المسافة . وهكذا تتوقف الطريقة التى تؤثر

www.ibtesama.com/vb

بها الجاذبية على جسم ما - تتوقف على المكان الذى يوجد فيه الجسم فحسب ، لا على طبيعة الجسم بحال من الأحوال - وهذا يوحى بأن تأثير الجاذبية سمة من سمات «المحلية» التى هى ما يصنعها أينشتين .

أما فيما يتعلق بالكتلة الجاذبة بالمعنى (٢) الخاص بشدة القوة التى يحدثها جسم ما . فإن هذه لم تعد متناسبة «تماماً» مع كتلتها من حيث القصور الذاتى . وتقضى هذه المسألة الإلمام برياضيات معينة ، ولهذا سأمتنع عن الخوض فيها(١) .

ولدينا إشارة أخرى إلى النوع الذى «ينبغى» أن يكون عليه قانون الجاذبية ، هذا إذا كان سمة من سمات الجوار ، كما رأينا السبب الذى يدعونا إلى افتراض ذلك . فلابد أن يتم التعبير عنه فى قانون لا يتغير حيز تتخذ نوعاً مختلفاً من الإحداثيات . ورأينا أنه لا ينبغى علينا - كبداية - أن ننظر إلى إحداثياتنا على أنها تمتلك أية دلالة فيزيائية : فهى مجرد طرائق منظمة لتسمية الأجزاء المختلفة من متصل الزمان - مكان . ولما كانت «مجرد اصطلاح» Conventional فهل لا يمكن أن تدخل فى قوانين الفيزياء . وهذا معناه القول بأننا إذا عبرنا عن قانون تعبيراً صحيحاً فى حدود مجموعة من الإحداثيات ، فإنه ينبغى أن يتم التعبير عنه بنفس الصيغة فى حدود مجموعة أخرى من الإحداثيات . أو إن شئنا مزيداً من الدقة - لابد أن يكون من الممكن إيجاد صيغة تعبر عن القانون ، ولا

(١) انظر : أدنجتون ، «النظرية الرياضية للنسبية» الطبعة الثانية ، ص ١٢٨ .

www.ibtesama.com/vb

تتغير بتغير الإحداثيات ، ومن مهمة نظرية الكميات الممتدة أن نتناول مثل هذه الصيغ . ونثبت هذه النظرية أن هناك صيغة واحدة ، توحى فى جلاء بأنها من المحتمل أن تكون قانون الجاذبية . وحين تفحص هذه الإمكانية نجد أنها تعطى النتائج الصحيحة ، وهنا تتدخل التأكدات التجريبية ، ولكن ، إذا كنا لم نجد أن قانون أينشتين متفق مع التجربة . لما استطعنا - مع ذلك - أن نرجع إلى قانون نيوتن ، ونكون مرغمين حينذاك بوساطة المنطق على البحث عن قانون يتم التعبير عنه فى حدود الكميات الممتدة ومن ثم يكون مستقلا عن اختيارنا للاحداثيات . ومن المحال - بدون الرياضة - أن نشرح نظرية الكميات الممتدة ، وينبغى أن يقنع الشخص غير الرياضى بأن يعرف أنها المنهج التكنيكى الذى تحذف به العنصر الاتفاقى من قياساتنا وقوانيننا ، وعلى هذا النحو نصل إلى قوانين فيزيائية مستقلة عن وجهة نظر المشاهد . ويعد قانون أينشتين للجاذبية أروع مثل على هذا المنهج .

www.ibtesama.com/vb

FARES_MASRY
www.ibtesama.com/vb
منتديات مجلة الإبتسامة

www.ibtesama.com/vb

الفصل العاشر

الكتلة وكمية التحرك والطاقة والفعل

السعى وراء الدقة الكمية ملح بقدر ما هو هام . والقياسات الفيزيائية تجرى بدقـة غير عادية ، فلو أنهـا أجريت فى عناية أقل لما اكتـشفت قط الإنحرافات الطفيفة التى تتألف منها المعطيـات التجريبية لنظرية النسبية . وقد كانت الفيزياء الرياضية تستخـدم - قبل ظهور النسبية - مجموعة من التصورات التى كان من المفـروض أن تكون دقيقة دقة القياسات الفيزيائية ، غير أن الأمر تكشف عن أنها كانت معيبة من الناحية المنطقية ، وأن هذه العيـوب قد أظهرت نفـسها فى الإنحـرافات الطفيفـة جداً عن التوقـعات القائمة على الحسـاب ، وفى هذا الفصل أريد أن أبين كيف تأثرت الأفكار الأساسية فى الفيزياء قبل - النسـبية ، وما هى التعديلات التى ينبغى أن تطرأ عليها .

لقد أتيحت لنا من قبل فرصـة الحديث عن الكتلة . والكتلة - تمشياً مع أغراض الحياة اليومية - هى نفسها الوزن . ومقاييس الوزن العادية من أوقيات وجرامات . . . . إلخ - هى حقاً مقاييس الكتلة . ولكننا ، ما أن نبدأ بإجراء قـياسات دقيقة ، حـتى نجد أنفسنا مرغمين على التـفرقة بين الكتلة والوزن . وهناك منهجـان مختلفان للوزن فى الاستعـمال العادى ، أحدهـما بالموازين (العـادية) . والآخر بالميـزان الزنبركى . وحين تـقوم

www.ibtesama.com/vb

برحلة . ويوزن متاعك ، ولا يوضع هذا المتاع على ميزان بكفتين ، بل على ميزان زنبركى ، والوزن يضغط على الزنبرك بمقدار معين ، وتظهر النتيجة بوساطة إبرة على قرص مرقوم . وهذا المبدأ نفسه مستخدم فى الآلات الأوتوماتيكية للحصول على وزنك . والميزان الزنبركى يبين الوزن ، أما الموازين فتبين «الكتلة» . ولا أهمية لهذا الاختلاف ما دمت باقياً فى شطر من العالم ، ولكن ، لو أنك اختبرت آلتين للوزن من نوعين مختلفين فى عدد من الأماكن المختلفة ، فستجد أن نتائجهما - إذا كانتا دقيقتين - لا تتفق دائماً ، أما الموازين العادية فستعطيك نفس النتيجة حيثما كنت ، أما الميزان الزنبركى فلن يعطيك نفس النتيجة دائماً . وهذا معناه ، إذا كان لديك قالب من الرصاص يزن ١٠ أوقيات بالميزان العادى فسيزن دائماً بالميزان ذى الكفيين عشر أوقيات . فى كل مكان من العالم «ما إذا كان يزن عشر أوقيات بميزان زنبركى فى لندن ، فسيزن أكثر من ذلك فى القطب الشمالى ، وأقل من ذلك عند خط الإستواء ، وأقل من ذلك أيضاً فى طائرة مرتفعة ، وأقل فى قاع منجم الفحم إذا وزنت فى تلك الأماكن جميعاً بنفس الميزان الزنبركى . والواقع أن الأداتين تزنان كميات مختلفة تمام الاختلاف . فالميزان العادى يزن ما يمكن أن يسمى (بغض النظر عن التدفقات التى سنلتفت إليها الآن) كمية المادة quantit of matter فهناك كمية من المادة فى رطل من الريش تعادل كمية المادة فى رطل من الرصاص . والأوزان المعيارية التى هى «كتل

www.ibtesama.com/vb

معيارية» حقاً ستزن كمية الكتلة في أية مادة توضع فى الكفة المقابلة . غير أن «الوزن» صفة راجعة إلى جاذبيـة الأرض . إنها مقدار القوة التى تجذب بها الأرض جـسماً مـا . وهذه القوة تتـباين من مكان إلى مكان : فـهذه الجاذبية تختلف - فى المقام الأول - فى أى مكان خارج الأرض - بعكس مربع المسافة من مركز الأرض، ومن ثم فإنها أقل فى مناطق الجو العليا . وثانيـاً : حـين تهـبط إلى منجم للفـحم ، فإن جـزءاً من الأرض يكون فوقـك ، وبالتالى فـإنه يجذب المادة إلى أعلى بدلا مـا أن يجذبهـا إلى أسـفل ، بحيث يكون صـافى الجاذبيـة إلى أسـفل أقل منها على ظهـر الأرض . وثالثاً : نظـراً لدوران الأرض ، هناك ما يسمى «الـقوة الطاردة المركزية» ، وهى تعمل ضد الجاذبيـة . وهذه القوة تبلغ أقصاها عند خط الإسـتـواء ، لأن دوران الأرض فـى هذه المنطقـة يقتـضى أسـرع حركـة للأرض . ولا يوجد لهذه القـوة عند القطبين لأنهما موجـودان على محور الدوران . ولهذه الأسباب جـميعاً ، فإن القوة التى ينجـذب بها جسم ما إلى الأرض يختلف قياسها فى الأماكن المختلفة . وهذه القوة هى ما يقيسه الميزان الزنبركى وهذا هو مـا يجعل الميزان الزنبركى يعطى نتائج مـختلفة فى الأماكن المختلفـة . أما فى حالة الموازين العادية فـإن الأوزان المعيارية (الصنج) تتغير كما تتغير الأجسام المراد وزنها ، ولهذا فالنتيجة واحدة فى كل مكان بيد أن هذه النتيجة هى «الكتلة» لا «الوزن» . و«للوزن» المعيارى كتلـته الواحدة فـى كل مكان . ولكن ليس له نفس «الوزن» . فهـو فى

www.ibtesama.com/vb

الواقع وحـدة الكتلة ، لا للوزن والكتـلة - التى تكاد تكون لا متـغيـرة بالنسبـة لجسم معين - تعـد من أجل الأغراض النظرية - أهم كثـيراً من الوزن الذى يتغير حسب الظروف. ويمكن أن ننظر إلى الكتلة - كبداية - على أنها «كمية المادة puantity of matter وسنرى أن هذا الـرأى ليس صحيحـا صحة تامة ، ولكنه يمكن أن يفيد بوصفـه نقطة بداية للتهذيبات التالية .

وتعـرف الكتلة - من أجل الأغـراض النظرية - على أنهـا محـددة بكميـة القوة المطلوبـة لإحـداث عـجلة معينة ، وكـلما كان الجـسم أكثـر تكتلا ، كانت القوة المطلـوبة لتغيير سرعتـه بمقدار معين فى زمن معين ، أكبر . ويحتاج الأمـر إلى قاطرة أقوى لكى تجعل قطاراً طويلا يصل إلى سرعة عشرة أميال فى الساعة فى نهاية نصف الدقيقة الأولى ، مما يحتاجه قطار أقصر ليصل إلى نفس هذه السرعة . أو قد تكون لدينا ظروف القوة فيها واحدة بالنسبة لعـدد من الأجسام المختلفة ، وفى هذه الحالة ، إذا كنا نستطيع أن نقـيس العجلات المحدثة فـيها . فإننا نـستطيع أن نتنبأ بنسب كتلتهـا : فكلما كانت الكتلة أعظم ، كانت العـجلة أصغر . ويمكن أن نأخذ لتصوير هذا المنهج ، مثلا هاماً فى ارتباطه بالنسبية . فالأجسام ذات النشـاط الإشعاعى تطـلق جزئيات بـيتاً (إلكتـرونات) بسرعـات هائلة ، ونستطيع أن نشاهد طريقها بأن نجعلها تسير خلال بخار الماء . وأن تكون سحـابة أثناء مسيـرها . ونستطيع فى الوقت نفـسه أن نخـضعهـا لقوى

www.ibtesama.com/vb

كهربائية ومغناطيسية معروفة ، ونلاحظ مدى إنحرافها عن الخط المستقيم بتأثير هذه القوى وهذا يجعل من الممكن مقارنة كتلتها وقد وجد أنه كلما كان مسيرها أسرع ، كانت كتلتها أكبر ، وفقاً لقياس مشاهد ثابت ، ومن المعروف أيضاً - على العكس - أن للالكترونات جميعاً بغض النظر عن تأثير الحركة - كتلة واحدة .

كان هذا كله معروفاً قبل اختراع نظرية النسبية ، بيد أنها أثبتت أن القصور التقليدى للكتلة ليس له ذلك التحدد التام الذى كان يعزى إليه من قبل . وكان من المعتاد النظر إلى الكتلة على أنها كمية المادة . وكان من المفترض أنها لا متغيره تماماً . والآن ، وجد أن الكتلة نسبية إلى المشاهد كالطول والزمان ، وأنه من الممكن تغيرها بوساطة الحركة بنفس النسبية تماماً ، ومهما يكن من أمر ، فهذه مسألة يمكن علاجها ، إذ نستطيع أن نأخذ «الكتلة الصحيحة» أى الكتلة كما يقيسها مشاهد يشارك فى حركة الجسم . وكان هذا من السهل استنباطه من الكتلة المقيسة بأخذ نفس النسبة كما هى الحالة فى الأطوال والأزمنة .

بيد أن هناك حقيقة أعجب من ذلك ، وهى أننا بعد أن قمنا بهذا التصحيح ، لم نحصل بعد على الكمية التى تكون فى كل وقت وهى نفسها للجسم نفسه . وحين يمتص جسم ما طاقة ، بأن يزداد سخونة مثلا - فإن « كتلته الصحيحة» تزداد زيادة طفيفة . وهذه الزيادة طفيفة جداً ، ما دمنا نقيسها بقسمة زيادة الطاقة على مربع سرعة الضوء . ومن جهة

www.ibtesama.com/vb

أخرى ، حين يفقد جسم شيئاً من الطاقة ، فإنه يفقد شيئاً من كتلته . ولعل أجدر الحالات بالذكر فى هذا الصدد أن أربع ذرات من الإيدروجين يمكن أن تتخذ لتكون ذرة واحدة من ذرات الهيليوم ، بيد أن ذرة الهيليوم تزن أقل من أربعة أضعاف كتلة ذرة أيدروجين واحدة . وهذه الظاهرة ذات أهمية عملية عظمى . ومن المعتقد أنها تحدث داخل النجوم ، وتزود بالطاقة التى نراها على هيئة ضوء النجوم ، والتى تقوم عليها الحياة الأرضية فى حالة الشمس ، ويمكن أن تحدث أيضاً فى المعاملة الأرضية ، بتحرير هائل للطاقة على شكل ضوء وحرارة . وهذا يجعل من الممكن إنتاج القنابل الهيدروجينية - التى يمكن أن تكون غير محدودة الحجم والقوة المدمرة . أما القنابل الذرية العادية التى تعمل بتفكك اليورانيوم ، فلها حد طبيعى فإذا جمع مقدار كبير من اليورانيوم فى مكان واحد ، فهو قابل للانفجار من تلقاء نفسه دون انتظار للتفجير ، ومن ثم فإن قنابل اليورانيوم لا يمكن أن تصنع إلا بحيث لا يتجاوز حجمها حداً أقصى معينا . غير أن القنبلة الهيدروجينية يمكن أن تحتوى من الهيدروجين حسبما تشاء ، لأن الأيدروجين لا ينفجر من تلقاء نفسه . وحين يتم تفجير الهيدروجين بقنبلة يورانيوم تقليدية ، فإنه فى هذه الحالة فحسب يتجمع لتكوين الهيليوم . ولإطلاق الطاقة . وهذا لأن هذا التجمع لا يحدث إلا فى درجة حرارة مرتفعة جداً .

وهناك ميزة أخرى : إن مخزون اليورانيوم فى أرضنا محدود جداً .

www.ibtesama.com/vb

وقد يخشى أن ينفذ قبل إبادة الجنس البشرى ، ولكن ، الآن ، بعد أن أمكن استخدام كميات الأيدروجين غير المحدودة عملياً - فهناك سبب وجيه لاحتمال أن يقضى «الإنسان الحكيم» homo sabians على نفسه ، لمصلحة الحيوانات الأقل منه ضراوة التى قد تبقى بعده .

غير أن الوقت قد حان للرجوع إلى موضوعات أقل من هذا مرحاً .

لدينا إذن نوعان من الكتلة لا يرضى أى منهما المثل الأعلى القديم ، فالكتلة - كما يقيسها مشاهد فى حركة بالنسبة للجسم المذكور - كمية نسبية ، وليس لها دلالة فيزيائية ، بوصفها صفة للجسم . «والكتلة الصحيحة» صفة حقيقية للجسم ، ولا تتوقف على المشاهد ولكنها - هى أيضاً - ليست ثابتة ثباتاً تاماً . وهكذا تصبح فكرة الكتلة - كما سنرى قريباً - مستوعبة فى فكرة الطاقة ، فهى تمثل - إذا شئنا الصدق - الطاقة التى ينفقها الجسم داخلياً ، فى مضاد الطاقة التى يظهرها للعالم الخارجى .

ولقد كان بقاء الكتلة وبقاء كمية الحركة ، وبقاء الطاقة هى المبادىء الكبرى فى الميكانيكا التقليدية . فلنبحث الآن فى بقاء كمية الحركة .

كمية الحركة لجسم ما فى إتجاه معين هى سرعته فى هذا الاتجاه مضروبه فى كتلته . وهكذا يمكن أن يكون لجسم ثقيل يتحرك ببطء نفس كمية الحركة التى لجسم خفيف يتحرك بسرعة . وحين يتبادل عدد من

www.ibtesama.com/vb

الأجسام الفعل بأية طريقة ، بالاصطدام مثلا ، أو بالجاذبية المتبادلة ، وما دامت أية مؤثرات خارجية لم تتدخل - فإن مجموع كمية الحركة للأجسام جميعاً فى أى اتجاه ، تبقى دون تغير . وهذا القانون يظل صادقاً في نظرية النسبية . فالكتلة تختلف بالنسبة للمشاهدين المختلفين ، ولكن السرعة تختلف أيضاً ، وليعمل كل من هذين الاختلافين على تحييد الآخر وينتهى الأمر بأن يظل المبدأ صادقًا .

وكمية الحركة لجسم ما مختلفة فى الإتجاهات المختلفة . والطريقة المألوفة لقياسها هى أن نأخذ السرعة فى إتجاه معين (وفقاً لقياس المشاهد) ونضربها فى الكتلة (كما يقيسها المشاهد) . والآن فإن السرعة فى إتجاه معين هى المسافة التى يقطعها الجسم فى ذلك الإتجاه فى وحدة زمنية . فلنفترض أننا أخذنا بدلا من ذلك المسافة المقطوعة فى ذلك الاتجاه أثناء حركة الجسم خلال وهدة «فاصل» . (فى الأحوال العادية ، لا يكون هذا سوى تغيير طفيف جداً ، لأن الفاصل - بالنسبة للسرعات الأقل كثيراً من سرعة الضوء - يساوى تقريباً إنقضاء الزمن) . ولنفترض أننا بدلا من أن نأخذ الكتلة كما قام بقياسها المشاهد ، أخذنا الكتلة الصحيحة هذان التغيران يزيدان من السرعة ويقللان الكتلة بنفس النسبة ، وهكذا تبقى كمية الحركة هى نفسها ، ولكن إستبدلت الكميات التى تتغير وفقاً للمشاهد بكميات ثابتة ومستقلة عن المشاهد - باستثناء المسافات التى يقطعها الجسم فى الإتجاه المعين .

www.ibtesama.com/vb

وعندما نستبدل الزمان بمتصل «المكان - زمان» نجد أن الكتلة المقيسة (فى مضاد الكتلة الحقيقية) عبارة عن كمية من نفس نوع كمية الحركة فى إتجاه معين ، ويمكن أن تسمى كمية الحركة فى الإتجاه الزمنى . ونحصل على الكمية المقيسة بضرب الكتلة اللامتغيرة فى الزمن » المقطوع فى الانتقال خلال وحدة «الفاصل» ونحصل على كمية الحركة بضرب نفس هذه الكتلة اللامتغيرة فى «المسافة المقطوعة (فى الاتجاه المعين) فى الانتقال خلال وحدة الفاصل ، ومن الطبيعى - من وجهة نظر متصل «الزمان - مكان» . أن ينتمى كل منهما إلى الآخر .

وعلى الرغم من أن الكتلة المقيسة لجسم ما تتوقف على الطريقة التى يتحرك بها المشاهد بالنسبة للجسم ، فإنها مع ذلك كمية هامة جداً ، والمحافظة على الكتلة المقيسة هى كالمحافظة على الطاقة سواء بسواء . وقد يبدو هذا باعثاً على الدهشة ، مادامت الكتلة والطاقة - تبدوان لأول وهلة - شيئين مختلفين تمام الاختلاف ، ولكن ظهر أن الطاقة هى نفسها الكتلة المقيسة ، وشرح هذه المسألة ليس يسيراً ، ومع ذلك ، فسنقوم بالمحاولة .

فى الكلام الدارج ، لا نعنى «الكتلة» و «الطاقة» شيئاً واحداً على الإطلاق . ونحن نربط «الكتلة» بفكرة رجل بدين بطىء الحركة يجلس على مقعد ، بينما توحى لنا فكرة «الطاقة» برجل نحيف زاخر بالحيوية والنشاط ، ويربط الكلام الدارج بين الكتلة والقصور الذاتى inertia غير أن نظرتنا إلى «القصور الذاتى» مقصورة على جانب واحد : إنها تتضمن

www.ibtesama.com/vb

البطء فى بداية التحرك ، ولكنها لا تتضمن البطء فى التوقف الذى تشمله الكلمة أيضاً . وكل هذه المصطلحات مستخدمة فى الكلام الدارج . ونحن الآن معنيون بالمعنى الفنى لكلمة «الطاقة» .

أثيرت فى النصف الأخير من القرن التاسع عشر ضجة كبيرة حول «بقاء الطاقة» أو «بقاء المادة» على حد التعبير الذى كان يؤثره هربرت سبنسر . ولم يكن من اليسير التعبير عن هذا المبدأ بطريقة بسيطة بسبب الأشكال المختلفة للطاقة ، غير أن النقطة الجوهرية هى أن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث ، وإن يكن من الممكن تحويلها من نوع إلى آخر . وقد اكتسب هذا المبدأ مكانته نتيجة لاكتشاف چول Jonl للمعادل الميكانيكى للحرارة mochanical epuivalent of heat الذى أثبت أن هناك نسبة ثابتة بين الشغل المطلوب لإحداث مقدار معين من الحرارة والشغل المطلوب لرفع ثقل معين إلى ارتفاع معين : والواقع أن نفس نوع الشغل يمكن أن يستخدم لأى من الغرضين وفقاً للميكانيكية (الآلية) . وعندما وجد أن الحرارة تتألف من حركة الجزئيات molecnles رئى من الطبيعى أن تكون مماثلة لأشكال الطاقة الأخرى ، وإذا توسعنا فى هذا القول ، أمكن بمعونة قدر معين من النظرية إرجاع أشكال الطاقة جميعاً إلى شكلين ، أطلق عليهما على التواليـ : طاقة الحركة kinetic وطاقة الوضع potential .

وطاقة الحركة لجزىء ماهى نصف الكتلة مضروبة فى مربع السرعة ،

www.ibtesama.com/vb

وطاقة الحركة لعـدد من الجزئيات هى مجموع طاقـات الحركة لكل جزىء على حدة .

أما طـاقة الوضع فـأصعب من ذلك تحـديداً فهى تمثل أية حـالة من حالات التـوتر التى لايمكن المحافظة عليهـا إلا باستخدام القـوة ، ولنأخذ أسهل حالة : إذا رفع ثقل إلى إرتفاع ما وظل مـعلقاً ، فإنه يحتوى على طاقة وضع ، لأنه لو ترك لنفسه فسـوف يسقط . فطاقة الوضع له تساوى طاقة الحركـة التى سيكتسبـها إذا سقط فى نفس المسافـة التى رفع منها . وبالمثل ، حين يدور شـهـاب حول الشـمس فى فلك شـاذ جداً ، فـإنه يتحـرك بسرعة أكبر حـين يكون قريباً إلى الشمس منه حين يكون بـعيداً عنها ، بحيث تكون طاقة وضعه أعظم كثيراً منها حين يكون بالقرب من الشمس . ومن ناحـية أخرى ، تكون طاقـة وضعه أكبـر ما تكون حين يكون بعيداً عن الشـمس لأنه يكون فى هذه الحالة شبيهـا بالصخرة التى رفعت إلى أعـلى . ومجمـوع الطاقتين ، طاقـة الحركة ، كطـاقة الوضع للشهاب مجموع ثابت ، اللهم إلا إذا عانى من الاصطدامات أو فقد شيئاً من مادته . ونحن نستطـيع أن نحدد بدقة «التغيـير» الذى يطرأ على طاقة الوضع فى الانتقال من وضع إلى آخر ، بيد أن المقدار الكلى لها اعتباطى إلـى حـد ما ، ما دمنـا نستطيع أن نحدد مستـوى الصفر حيثـما نشاء . فمثلا ، يمكـن أن تؤخذ طاقة الوضع للحجر على أنها طاقـة الحركة التى يتطلبها فى سقوطه إلى سطح الأرض ، أو مـا يتطلبها فى سقوطه فى بئر

www.ibtesama.com/vb

إلى مركـز الأرض ، أو أية مسافة أقل . فـلا أهمية لما نأخـذه ، ما دمنا نتمسك بقـرارنا ، فنحن معنيون بحساب المكسب والخسـارة ، وهو ما لا يتأثر بمقدار الرصيد الذى نبدأ به .

وتخـتلف طاقات الحـركة والوضع مـجمـوعة من الأجسـام بالنسـبة للمشاهدين المخـتلفين . وفى الديناميكا القديمة (الكلاسيكيـة) كانت طاقة الحركة تختلف وفقاً لحالة الحـركة التى يكون عليها المشاهد ، ولكن بمقدار ثابت ، أما طاقـة الوضع فلم تكن تختلف على الإطلاق ، وبالتـالى فإن الطاقة الكليـة كانت ثابتة - بالنسـبة لكل مشـاهد - مفتـرضين دائماً أن المشاهدين المعنيين بالأمر يتحركون فى خطوط مستقيمة وبسرعات منتظمة . أو إن لم يكن كذلك «فإنهم قادرون على إرجاع حركاتهم لأجسام تتحرك على ذلك النحو . بيد أن المسـألة ازدادت تعقيداً فى الديناميكا النسـبية ، فـإن أفكار نيوتن عن طاقـة الحركـة وطاقـة الوضع يمكن أن تتكيف دون صعوبة كـبيرة مع نظرية النسـبية الخاصـة . ولكننا لا نستطيع أن نكيف فكرة طاقة الوضع لنظرية النسبية العامة تكيفاً يعود علينا بالنفع ، كما أننا لا نستطيع أن نعـمم فكرة طاقة الحركة اللهم إلا فى حـالة جسم واحد . وعلى هذا «فإن بقـاء الطاقة - بالمعنى النيوتونى العـادى - لا يمكن الأخذ به . والسـبب هو أن طاقتى الحـركة والـوضع لنسق من الأجسـام أفكار طبيعية تشير إلى مناطق ممتدة من متصل «المكان - زمان» . فالمجال المتسع جداً فى اختيار الإحداثيات ، والطبيعة الجبلية لمتصل المكان - زمان (اللذان

www.ibtesama.com/vb

شرحا فى الفصل الثانى) يجتمعان ليجعلا من المتعذر إدخال أفكار من هذا القبيل فى النظرية العـامة . هناك قانون لبقاء الطاقـة فى النظرية العامة ، ولكنه ليس مفيداً فائدة قوانـين بقاء الطاقة فى ميكانيكا نيوتن وفى النظرية الخاصة ، لأنه يعـتمد على اختيار الإحـداثيات بطريقة يصعب فهـمها . ولقد رأينا أن الاستقلال فى اختيار الإحـداثيات مبدأ هام فى نظرية النسبية العامة ، وقانون بقاء الطاقة مشتبه فيه لأنه يتعارض مع هذا المبدأ . وسواء أكان ذلك يعنى أن بقاء الطاقة أقل من حـيث الأهمية الجوهرية ، مما كان يعتـقد حينـذاك ، أم أن قانونا مرضـياً لبقـاء الطاقة مـا زال مخفـياً فى التعقيـدات الرياضية للنظرية فهذه مسألـة ما زالت فى حاجة إلى الحلى . وفى هذه الأثناء - ينبغى أن نـقنع فى النظرية العامة بفكرة طاقـة لجزىء واحد فحسب . وهذا هو كل ما نحتاج إليـه فى المناقشة التالية . وينبغى أن نتذكر أن هذه الصـعوبات المتعلقة ببقـاء الطاقة لا تنشأ إلا فى النظرية العـامة ، لا فـى النظرية الخاصـة ، وحـينمـا أمكن إهمـال الجاذبيـة ، وأصبحت النظرية الخـاصة قابلة للتطبيق ، فإنه من الممكن التـمسك ببقاء الطاقة .

وليس ما نـعنيه بكلمـة «بقاء» فى التطبـيق ، هو ما تعنيـه تماماً فى النظرية . ففى النظرية نقول إن كميـة باقية حين يكون مقدارها فى العالم هو نفسه فى وقت ما كما هو فى أى وقت آخر . ولكننا لا نستطيع - من الوجهة العـملية - أن نمسح العالـم بأسره ، ومن ثم فلابد أن نعنى شـيئاً

www.ibtesama.com/vb

آخـر يمكن الإحاطة به ؛ ونحن نعنى ، أننا لو أخذنا أيـة منطقة معينة ، فإن تغيير مقدار الكميـة فى المنطقة ، معناه أن بعض هذه الكمية قد انتقل عبر حـدود المنطقة ، ولو لم تكن هناك حالات ميـلاد ، وحالات وفاة ، لظل تعداد السكان ثابتاً ، وفى هذه الحالة لا يمكن أن يتغير تعداد السكان إلا بالهجـرة من المنطقة أو إليـها ، أى بالإنتقـال عبر الحـدود . وقد لا نكون قادرين على القيام بتعداد دقيق للصين أو لأواسط أفريقيا ، ومن ثم قد لا نكون قـادرين على التأكد من مـجموع السكان الـكلى فى العالم . ولكننا نسـتطيع أن نبـرر أنفـسنا حين نفتـرض أنه ثابت ، ولو أن عـدد السكان - حيثما كانت الاحصائيات ممكنة ، لم يتغير قط إلا بعبور الناس للحدود . والواقـع طبعا ، أن عـدد السكان لا يبقى ثابتـا . وقد وضع فسيولوجى من العار فى أربعة فئران ذات مرة فى تروس وبعد عدة ساعات حين ذهب ليخرجها ، وجدها أحد عـشر فأراً . غير أن الكتلة لا تخضع لمثل هذه التـقلبات . ذلك أن كـتلة الأحد عشـر فأراً لم تكن فى نـهاية الوقت أكبر من كتلة الفئران الأربعة فى بداية الأمر .

وهذا يعود بناء إلى المشكلة التى كنا نناقش الطاقـة من أجلها . لقد ذكر نا أن الكتلة المقيسـة والطاقة ينظر إليهما فى نظرية النسبـية على أنهما شيء واحـد ، وأخذنا على عـاتقنا أن نبين لماذا كـان ذلك . وقد حـان الوقت الأن لنشـرع فى هذا الشرح . بيـد أن الأمر هنا - مثله فـى نهاية

www.ibtesama.com/vb

الفصل السادس ، ويحسن بالقارىء الذى لا يلم بشىء من الرياضيات أن يتركه ، وأن يبدأ بالفقرة التالية .

فلنأخذ سرعة الضوء على أنها وحدة السرعة ؛ وهذه الطريقة مريحة دائما فى نظرية النسبية ، ولكن «ك» هى الكتلة الصحيحة لجسيم ما ، «س» هى السرعة بالنسبة للمشاهد ومن ثم فإن الكتلة المقيسة تكون :

$$\frac{ك}{\sqrt{١ - س^{٢}}}$$

بينما تكون طاقة حركته - وفقاً للصيغة المعهودة هى :

$$\frac{١}{٢} ك س^{٢}$$

ولا نحدث الطاقة كما سبق أن رأينا - إلا فى حساب للمكسب والخسارة بحيث نستطيع أن نضيف إليها أية كمية ثابتة نريدها ، وعلى ذلك يمكن أن نأخذ الطاقة على أنها :

$$ك + \frac{١}{٢} ك س^{٢}$$

والآن ، إذا كانت س كسراً صغيراً من سرعة الضوء ، فإن ك + $\frac{١}{٢}$ ك $س^{٢}$ تكاد تعادل تماماً $\frac{ك}{\sqrt{١ - س^{٣}}}$. وبالتالى ، فإنه بالنسبة

www.ibtesama.com/vb

للسرعات التى للأجسام الكبيرة ، فإن الطاقة والكتلة المقيسة تصيران غير متمايزين داخل حدود الدقة الممكنة . والواقع أنه من الأفضل تعديل تعريفنا للطاقة ، ليكون $\frac{ك}{\sqrt{١ - س^{٢}}}$ ، لأن هذه الكمية التى يتمسك بها القانون المماثل لقانون بقاء الطاقة وحين تكون السرعة عظيمة جداً ، فإنها تعطى قياساً أفضل للطاقة مما تعطيه الصيغة التقليدية ، ولهذا يجب أن ننظر إلى الصيغة القديمة على أنها تقريب تعطى له المعادلة الجديدة صورته المضبوطة. وبهذه الطريقة، تصبح الطاقة والكتلة المقيسة شيئاً واحداً .

وأصل الآن إلى فكرة «الفعل» action التى هى أقل ألفة للجمهور من فكرة الطاقة «ولكنها أصبحت أكثر أهمية فى الفيزياء النسبية ، وفى نظرية الكم أيضاً (الكم مقدار صغير من الفعل) . وكلمة «فعل» تستخدم للإشارة إلى الطاقة مضروبة فى الزمان . وهذا يعنى ، أنه إذا كانت هناك وحدة واحدة للطاقة فى نظام معين ، فسوف تقوم بوحدة من الفعل فى مائة ثانية ، وهلم جرا . والنظام الذى توجد فيه مائة وحدة من الطاقة ، يؤدى مائة وحدة من الفعل فى ثانية و ١٠٠٠٠ وحدة فى مائة ثانية ، وهكذا ، الفعل إذن - بمعناه البسيط - هو مقياس ما تم فعلا ، ويزداد باستخدام مزيد من الطاقة ، وبالعمل زمناً أطول . ولما كانت الطاقة هى الكتلة المقيسة ، فيمكننا أيضاً أن نأخذ الفعل على أنه الكتلة المقيسة مضروبة فى الزمن . «وكثافة المادة» فى أية منطقة هى - فى الميكانيكا القديمة - عبارة عن الكتلة مقسومة على الحجم ، وهذا معناه أنك إذا

www.ibtesama.com/vb

عرفت الكثافة فى منطقة صغيرة ، فإنك تستطيع أن تكتشف المقدار الكلى للمادة بأن تضرب الكثافة فى حجم المنطقة الصغيرة . أما فى الميكانيكا النسبية ، فنحن نريد دائما أن نستبدل المكان بمتصل المكان والزمان . وعلى ذلك ينبغى ألا تأخذ «منطقة» ما على أنها مجرد حجم ، بل على أنها حجم يبقى زمناً ما . وبذلك تكون المنطقة الصغيرة بالمعنى الجديد - تحتوى - على كتلة صغيرة فحسب ، بل على كتلة صغيرة مضروبة فى زمن قصير ، أى مقدار صغير من «الفعل» . وهذا يفسر لنا ، لماذا يكون من المتوقع أن يكون الفعل ذا أهمية رئيسية فى الميكانيكا النسبية ، وإنه لكذلك فى الحقيقة .

ويمكن أن تحل محل المصادرة القائلة بأن الجزىء الذى يتحرك فى حرية يتبع خطوط جيوديسية geodesic افتراضاً معادلاً عن «فعل» الجزىء . وهذا الافتراض يسمى «مبدأ أقل فعل» Principle of Least Action ، ويقرر هذا المبدأ أنه فى الانتقال من حالة إلى أخرى ، يختار الجسم طريقاً يتطلب فعلا أقل ما يتطلبه أى طريق يختلف اختلافاً طفيفاً ، وهذا قانون آخر عن الكسل الكونى ! ومبادىء «أقل فعل» ليست مقصورة على الأجسام المفردة ، فمن الممكن أن نضع افتراضاً مماثلا يؤدى إلى وصف متصل ، «المكان - زمان» بوصفه كلا ، كاملا بتلاله ووديانه . ومثل هذه المبادئ التى تلعب دوراً رئيسياً فى نظرية الكم ، ونظرية النسبية على السواء ، هى أشمل وسيلة لتقرير الجزء الصورى الخالص من الميكانيكا .

www.ibtesama.com/vb

FARES_MASRY
www.ibtesama.com/vb
منتديات مجلة الإبتسامة

www.ibtesama.com/vb

الفصل الحادى عشر

الكون المتمدد

تناولنا حتى الآن تجارب وملاحظات يتـعلق معظمها بالأرض والنظام الشمسى . وكان عرضاً أن وصلنا إلى مجالات بعيدة كمجالات النجوم . وفى هذا الفـصل سنصل إلى أبعد من ذلك ، فـسنرى ما تقـوله النظرية النسبية عن الكون ككل .

ويجب أن ينظر إلى المشاهدات الفلكية التى سنناقشها على أنها نتائج علمية مقررة ومهمـا يكن من أمر ، فإن الشروح النظرية لهذه النتائج ذات طبيـعة تأملية ، ويـنبغى ألا نفتـرض أننا نتناول مسائل نظـرية لها نفس الصلابـة التى اتسمت بهـا المسائل التى تناولناها حـتى الآن . وليس من شك فى أنها فى حاجة إلى تحسين . فـالعلم لا يهدف إلى إرساء حقائق ثابـتة وعـقائد أبدية ، وإنما هـدفـه هـو الاقتراب من الحـقيـقة بتقـريبات متـتابعة ، دون أن يدعـى فى أية مـرحلة أنه قد وصل إلى الدقة النهـائية الكاملة .

ومـن الضـرورى أن نمهـد بشـروح أوليـة قليلة عـن المظهـر العـام للكون . وقد عـرف الآن الكثير عن توزيع المـادة على نطاق واسع جداً . وشـمـسنا واحـدة من النجـوم فى نظام يضم ١٠٠,٠٠٠ مليـون نجم ،

www.ibtesama.com/vb

ويسمى هذا النظام بالمجرة على هيئة عجلة كاترين هائلة . بأذرع لولبية من النجوم خارجة عن جولق (محور العجلة) مركزى لامع . ومعالم هذه المجرة ليست حادة كل الحدة ، غير أن الجسم الرئيسى للنجوم يبلغ طوله ٣٠,٠٠٠ سنة ضوئية ، وعشر هذا الرقم من حيث الكثافة (السنة الضوئية هى المسافة التى يقطعها الضوء فى سنة - حوالى ستة مليون ميل) وتقل الشمس فى إحدى هذه الأذرع الحلزونية ، على بعد ٢٥,٠٠٠ سنة ضوئية من مركز الجولق . والطريق اللبنية «وهى مجموعة متألفة من النجوم ممتدة عبر السماء ، وترى بسهولة فى الليالى الصافية ، هى الحد الأقصى الذى يمكن أن يصل إليه نظرنا لبقية المجرة من هذا الوضع فى الذراع الحلزونى .

وتحتوى المجرة إلى جانب النجوم على كمية كبيرة من الغازات معظمها من الأيدروجين ، كما تحتوى على كمية من التراب . ومجموع كتله الغاز والتراب تعادل - على الأرجح - مجموع كتلة النجوم إذا وضعت معاً . وهذا الركام من النجوم والغبار والغاز يدور ببطء حول الجولق . وتتفاوت سرعة الدوران حسب بعد المسافة عن الجولق ، وتستغرق الشمس ٢٢٥ مليون سنة لكى تدور مرة واحدة .

والمجرة ليست وحدها فى الكون بحال من الأحوال . فهى واحدة بين ملايين عديدة من النظم المماثلة المتناثرة خلال المنطقة التى تستطيع مناظيرنا الفلكية (التلسكوبات) كشفها . وهذه النظم تسمى أيضاً بالمجرات

www.ibtesama.com/vb

(وأحياناً تسـمى بالسدم) وبعض هذه المجرات مسطحـة ، ذات أذرع لولبية كمجـرتنـا ، وبعضها الآخـر مـستديرة ككرة القدم ، أو بـيضاوى ككرة الرجبى ، ومنها ما له شكل غير منتظم .

وتظهر المجرات ميلا إلى أن تتجـمع فى جماعات ، وهذه الجماعات تسمى «عناقيد» clueters وقد يحتوى العنقـود الواحد على ألف مجرة أو ما يزيـد على ذلك ، وكل منها نظام نجـمى متـرامى الأطراف كنظامنا . ومجرتنا تنتمى إلى عنقود من تلك العناقيد يسمى «المجموعة المحلية» يضم حوالى سبع عشرة مجرة أخـرى (لا نستطيع التأكد تماماً من عدد المجرات فيه لأن عدداً من الأعضاء المشتبه فيهـا صغير وخافت نسبياً) ولعل أشهر جارة لنا فى «المجموعة المحلية» local group هى مجرة أندروميدا العظيمة (أو المرأة المسلسلة) ، وتبـعد عنا بحوالى ١,٥٠٠,٠٠٠ سنة ضـوئية . وتظهر خافتة للعين المجردة .

وتتبـدى عناقـيد النجوم على أنهـا أكبر وحـدات طبـيعيـة للمادة فى الكون . ولا يبدو أن هناك مـيلا - وأن لم يكن ذلك مؤكـداً بعد - إلى مزيد من التـجمع أى تكوين عناقيد لـلعناقيد . ويبدو أن توزيع العناقـيد الحالى متجانس إلى حد بعيـد . فهناك من النجوم فى شطر من السماء ما يعادل النجوم فى شطر آخر . كـما تبدو أنها موزعة توزيعاً مـتجانساً من حيث العمق ، وليست العناقيد مرتبـة بانتظام طبعاً - وكأنها صفوف من النقاط ، ولكنـها موزعـة أعتبـاطاً ، وكأنها قطرات مـن المطر على زجاج

www.ibtesama.com/vb

نافذة بعد أن بدأ المطر فى السقوط ، وتوزيع العناقيد متجانس بنفس المعنى الذى نعنيه حين نقول إن توزيع قطرات المطر متجانس - فأنت لا تستطيع أن تقول إن عدد قطرات المطر على كل لوح من الزجاج هو نفسه ، ولكن هذا العدد لن يختلف كثيراً فى لوح عنه فى اللوح التالى .

ولأن عناقيد المجرات هى أكبر وحدات طبيعية . ولأننا نستطيع أن نرى فعلا عدداً كبيرا من هذه الوحدات ، فمن المعقول أن نفكر فى أن الجزء المرئى من خلال المناظير الفلكية الموجودة يمثل الكون ككل . ولن يكون من المعقول أن نفترض أن المنطقة المتجانسة تمتد إلى المدى البعيد الذى يمكن أن تراه المناظير الفلكية الآن (هو حوالى ١٠٠٠ مليون سنة ضوئية) وأن التحسين التالى فى المشاهدة سيكتشف مناطق أبعد ذات طبيعية مختلفة تمام الاختلاف ، وقد لا يكون من المستحيل أن يكون الأمر على هذا النحو ، بيد أن هذا معناه أن المجموعة المحلية - أو فى مكان ما بالقرب منها - قد اختيرت بصفة خاصة على أنها مركز المنطقة المتجانسة ، بينما لا يوجد سبب علمى لافتراض أنها اختيرت بهذه الطريقة .

وهذه الفكرة القائلة بأن الكون متجانس على نطاق واسع ، وهى الفكرة التى اقترحت قبل أن تقوم عليها بينة فلكية مناسبة ، وقد اكتسبت الآن وضع السلسلة الأساسية . ويطلق عليه عادة اسم «المبدأ الكونى» وهذا المبدأ ما هو إلا امتداد حقاً لأفكار «كوبرنيكس» . وما إن نتخلى عن

www.ibtesama.com/vb

الفكرة الأنانية القائلة بأن الأرض هى مركز الأشياء جميعاً ، فإننا نجد أنفسنا مدفوعين إلى إدراك أن الشمس التى هى نجم عادى - لاحق لها أكثر من الأرض فى أن يكون لها مكان خاص فى وصفنا للكون . وحين نجد أن مجرتنا والعنقود الذى تنتمى إليه هما أيضا مجرد عينات نموذجية ، فينبغى أن يوضعا أيضاً منطقياً على مستوى واحد مع الأشياء المماثلة الأخرى . كما أنه لا يوجد أى سبب تجريبى لافتراض أن قوانين الفيزياء تتباين تبايناً منظماً من عنقود من المجرات إلى عنقود آخر .

ومن هذه الحجج ، نستنتج أن الكون متجانس على نطاق واسع ، أو بعبارة أخرى ، أنه يتفق مع المبدأ الكونى .

ويمكن أن توضع نتائج هذا المبدأ بطريقة مختلفة اختلافاً طفيفاً فلنفترض أنك وضعت فى صندوق بلا نوافذ ، وأنك نقلت إلى جزء بعيد من الكون ، وحين تطلق من الصندوق ، فلن ترى - بالطبع - التوزيع الخاص للنجوم والمجرات المرئية من الأرض - ذلك أن التفاصيل الجغرافية لبيئتك الجديدة ستكون مختلفة . ولكن - وفقاً للمبدأ الكونى فإن المظهر الإجمالى للكون سيكون هو نفسه ، ولن تستطيع بمعزل عن التفاصيل أن تبين الجزء الذى كنت فيه من الكون .

وثمة ظاهرة بارزة جداً كان من الممكن أن تؤدى بنا إلى افتراض أن لعنقودنا المحلى من المجرات وضعا خاصاً فى الكون - على كل حال .

www.ibtesama.com/vb

وهذا هو ما يسمى بإزاحة الخط الأحمر فى طيف المجرات البعيدة . وبسبب هذه الظاهرة - كما سنرى فيما بعد - يقال إن الكون آخذ فى التمدد .

ويعنينا هنا تأثير شرحناه فى الفصل التاسع ، وإن نكن معنيين به فى ذلك الفصل عناية مباشرة ، وأنت تتذكر التشبيه الذى أوردناه هناك عن الصوت : إذا كان هناك قطار يتحرك نحوك ، فإن شدة صفارته تكون أعلى مما لو أنه كان ثابتا لا يتحرك ، بينما إذا كان يتحرك مبتعداً عنك فإن شدة الصفارة تكون أشد إنخفاضاً ، وهذه التأثيرات مشابهة أشد المشابهة فى حالة الضوء «فلو كان مصدر الضوء يتحرك نحوك ، فإن طيف الضوء كله ينتقل نحو البنفسجى ، وإذا كان المصدر يتحرك مبتعداً عنك ، فإن الطيف كله ينتقل صوب الأحمر . هذه الانتقالات للطيف تناظر التغيرات التى تطرأ على شدة الصوت فى صفارة القطار ، ويتوقف مقدار الانتقال على سرعة مصدر الضوء بالنسبة إليك . (ولا علاقة لهذا بسرعة الضوء نفسها ، التى تعد مستقلة عن حركة المصدر - كما سبق أن رأينا) ، وهذه الإزاحة للطيف تزودنا بوسيلة لتحديد سرعات النجوم والمجرات بمقارنة أطياف الضوء التى تبعث بها بالأطياف المماثلة التى نحدثها فى معاملنا على الأرض . وتبلغ سرعات المجرات فى «المجموعة المحلية» التى نقيسها بهذه الطريقة ، حوالى ٣٠٠ ميل فى الثانية . وهذه سرعة سريعة جداً بالنسبة لمعاييرنا اليومية . ولكن نظراً للمسافات

www.ibtesama.com/vb

الشاسعة الممتدة بين المجرات ، فإن أى تغيير ملحوظ فى أوضاعها يستغرق ملايين السنين .

وبعض المجرات في المجموعة المحلية ، يتحرك نحونا ، وبعضها يتحرك بعيداً عنا ، وليس فى هذا القول شيء بارز عن هذه الحركة التى يمكن أن تقارن بحركة سرب من النحل يتحرك بعضه بالنسبة لبعضه الآخر ، بيد أن السرب بوصفه كلا يظل متحركاً معاً . ويختلف الموقف إلى حد ما عندما نفحص عناقيد أخرى غير عنقودنا فهنا أيضاً حركات داخلية فى كل عنقود ، غير أن كل العناقيد الأخرى يبدو أنها تتحرك «مبتعدة» عن عنقودنا ، وكلما أمعنت فى الابتعاد ، بدت أسرع فى الحركة . وهذه الظاهرة العجيبة هى التى توحى بأن الكون آخذ فى التمدد .

وقد نميل – نظراً لأن كافة العناقيد الأخرى تبدو متحركة بعيداً عن عنقودنا – إلى التفكير فى أن المجموعة المحلية قائمة فى مركز الكون الآخذ فى التمدد وهذا خطأ ، لأنه يتجاهل الطبيعة النسبية للحركة التى أشرنا إليها مراراً وتكراراً فى هذا الكتاب . ولننظر مرة أخرى فى التشبية الخاص بأسراب النحل . فلنفترض أنها أسراب مدربة تدريباً حسنا ، وأنها تحوم فوق الأرض بحيث تكون المسافة بين كل سرب والسرب الآخر ياردات ، فى خط يجرى من الغرب إلى الشرق ، ولنفترض بعد ذلك أن سرباً من هذه الأسراب يبقى ساكناً بالنسبة للأرض ، على حين أن السرب

www.ibtesama.com/vb

الذى يبتعد عـنه عشر ياردات إلى الشرق ، يتحرك صـوب الشرق بسرعة ياردة كل دقيـقة ، والسرب الذى يبتـعد عنه عشـرين ياردة إلى الشرق ، يتحرك صوب الشرق بسرعـة ياردتين فى الدقيقة ، وهكذا دواليك ، بينما تتحرك الأسـراب الموجودة فى غرب السرب الثابت - تتـحرك إلى الغرب بسرعـات مماثلة . وحينئذ سـيبدو لأية نـحلة فى أى من هذه الأسراب ، سواء أكـانت ثابتة أم متـحركة ، أن الأسـراب الأخرى جميـعاً تتـحرك مبـتعدة عن سربهـا بسرعات تتناسب مع مـسافاتهـا فإذا لم تكن الأرض ميسرة بوصفها معياراً للسكون «فلن يكون ثمة سبب يدفع إلـى التفكير فى أننا قد اختـرنا سرباً واحداً من هــذه الأسراب بطريقة خاصة .

وسلوك عناقيد المجرات مشابه لذلك تماماً . وليس من شك فى أنها مـوزعة توزيعاً غير منظم فى جمـيع الاتجاهات بدلا من أن تكون مصفوفة فى خط واحـد كأسـرابنا من النحل المـدربة تدريباً حـسناً ، ولكن يبـدو للمـشاهد الموجـود فى أى عنقـود - كمـا هى الحال فى الأسـراب - أن العناقيد الأخرى جـميعاً تتحرك مبتـعـدة عنه . ولما لم يكن هناك معيار مطلـق للسكون فـى الكون ، فـإن مظـهـر التمدد واحـد بالنسبة للعناقـيد جميعاً .

وأقرب عـنقود - وهو على بعـد حوالى ٢٥ مليـون سنة ضوئـية ، ويحتـوى على ٥٠٠ مجرة أو أكثـر - له ازاحة نحو الخط الأحمـر تقابل سرعـة ارتداد عن الأرض مقـدارها ٧٥٠ ميلا فى الثـانية . وأبعـد عنقود

www.ibtesama.com/vb

أمكن بحثـه ، له «إزاحة نحو الخط الأحـمر تبلغ ضعف العنقـود السابق مائة مرة ، وتقابل سرعة ارتداد مقدارها $\frac{٣}{٥}$ سرعة الضوء .

فلنبحث الآن ، كـيف يمكن أن تتلاءم هذه المعلومـات عن الكون مع نظرية النسبـية العامة : لقـد رأينا أن التأثيرات الجـاذبة للشمس يمكن أن توصف بما يوصف به تل فى منتـصف «الزمان - مكان» . ويمكن تشبـيه المجرة أو العنقود على هذا النحـو نفسه . ولكن بتل أكبر كـثيراً ، وذلك نظـراً لكتلتـها (أو كتلتـه) العظيمـة جدا (تبلغ كتلة العنقـود النموذجى حوالى مليون مليون مرة ضعف كتلة الشمس) . ولو حاولنا أن نحشر فى هذا الوصف تفاصـيل توزيع النجوم فى كل مجـرة ، وتوزيع المجرات فى كل عنقـود ، لكان لابد من أن يكون تلنا معـقداً له قـمم ووديان كثـيرة ولحـاولنا عندئذ أن نصف الـكون كله على نحو يمكن تشـبيـهه بمتـصل «المكان - زمان» وفيه تلال متناثرة تمثل العناقيد . ومثل هذا الوصف معقد غايـة التعـقيد من الناحية الرياضيـة لأنه سوف يتضمن تفاصيل جـغرافية عديـدة ليست جوهرية فى وصف المظهر الإجـمالى للكون . ولتبسيط هذا الوصـف نشيد نماذج تحـتفظ بالسمات الجوهرية . وتتخلى عن الـتفاصيل الجغـرافية والسـمات التى نحتـفظ بها هى التجـانس على نطاق واسع ، والامتداد، والتفاصيل التى نتـخلى عنها هى المواقع المحددة ، والأحجام ، وتكوينات العناقيد الفردية .

وهكذا نشيد نموذجا لمتصلات «المكان - زمان» لتمثل الكون مفترضين أنه متجانس على وجه الدقـة ، لا على وجه التقريب . وفى هذه النماذج

www.ibtesama.com/vb

المبسطة نتخيل المادة وقد أتيحت لها نعومة تجعلها توزع توزيعاً متصلا بدلا من أن تتجمع فى عناقيد تفصل بينها مسافات شاسعة من القضاء .

وكما يمكن أن يوصف تجمع المادة فى عنقود بقولنا إن هناك تلا كبيراً فى متـصل «الزمان - مكان» حـيث نشاهد العنقـود أو بقولنا إن مـتصل الزمـان - مكان قـد انحنى بالقـرب من العنقـود ، فكذلك يمكن وصف التوزيع المتجانس للمادة فى نموذج ناعم للكون بقولنا إن متصل «المكان - زمـان» ينحنى إنحناء متـجـانساً وتأثيـر تنغيم المـادة التى تؤلف العناقيـد المختلفة يعمل على تنعيم أو تسوية تقويس (إنحناء) المناظر لإنتاج تقويس إجمالى طفيف وهـذا التقويس الإجمالى للكون يشبـه إلى حد ما تقويس كرة فى المكان العـادى ولكننا لن نمعن ، تشبـيه التـقويس بتلال مـتصل الزمان - المكان أبعد من ذلك ، بمقارنة التقويس الإجمالى لمتصل «المكان - زمان» بتـقويس الأرض ، لأن هذا الإمعان فى الـتشبيـه من السـهل أن يصير مضللا .

ويسمح لنا قانون أينشتين للجاذبية ، بالإضافة إلى افتراض التنعيم - أى الافـتـراض القائل بالتـجانس الدقـيق - إلى إنشـاء تنـوع مـن نماذج الكون ، يتخـذ فيهـا التقويس الإجـمالى تنوعاً من الأشكال المخـتلفة . والتأثيـر الرئيسى فى هذا التـقويس الإجـمالى هو أنه يقتـضى فى بعض النماذج ، أن يظهر الكون وكأنه يتمـدد . وهنا يوجد قدر معين من حرية الاختيـار . وذلك بسبب حرية الاختـيار لنظم الإحداثيات المتـاحة لنا فى

www.ibtesama.com/vb

نظرية النسبية فقد نختار الإحداثيات بحيث تكون المادة المنعمة فى حالة سكون ، أو قد نختارها بحيث تكون المادة آخذه فى التمدد ، ويبدو التقويس أقل انحناء . ونوع الإحداثيات الذى نستخدمه مسألة ذوق ، ولا يؤثر على النتيجة النهائية ، وهى التنبؤ بأنه وفقاً لهذه النماذج للكون ، فإن طيف الأشياء البعيدة سيلاحظ أنه ينتقل صوب الأحمر . وقد نعزو هذه الإزاحة نحو الخط الأحمر إلى التمدد ، أو إلى التقويس ، أو إلى كل منهما جزئياً . ولأن التمدد فكرة أسهل فى التفكير من تقويس «متصل الزمان - مكان» ، فمن المريح عادة أن نتحدث عن الكون المتمدد بدلا من الكون المنحنى ، بيد أن هذين - من ناحية المصطلح الرياضى - شىء واحد . وقد كان من الأسهل فى حالة الإزاحة نحو الخط الأحمر التى تنبأ بها فى الخطوط الطيفية للشمس ، وهو التأثير الذى تناولناه فى الفصل التاسع - كان من الأسهل التفكير على النحو الآخر ، وإرجاع الإزاحة نحو الخط الأحمر إلى التقويس .

وتتفق نماذج الأكوان التى كنا بصدد الحديث عنها - قليلا أو كثيرا مع الملاحظات الخاصة بالصفات الإجمالية لكوننا . فهناك أكوان أخرى ، تتسق على السواء مع قانون أينشتين وافتراض التجانس ، وفيها «إزاحة - زرقاء» تتجاوب مع تقلص للكون بدلا من الإزاحة الحمراء ، وليس فى وجود مثل هذه النماذج ما يدعو إلى رفض نظرية أينشتين ، وإنما تقضى بأن النظرية ليست كاملة ، وبأنه من المطلوب افتراض إضافى يستبعد النماذج غير المطلوبة . ولقد افترضت افتراضات شتى ، ولكن لم يوجد حتى الآن افتراض مرض تماماً .

www.ibtesama.com/vb

ولنفحص نتـائج التمدد مزيدا من الفـحص ، متذكرين دائـماً أن ما نقـوله يمكن أن يعـاد قوله فـى حدود تقـويس «الزمـان - مكان» إذا لزم الأمر. وأوضح نتيجـة هى أنه لو كان الكون آخذاً فى التخلخل - أى لو أن عناقيد المجرات يبتعد بعضها عن البعض الآخر ، فلابد أنها كانت فى الماضى أقرب إلى بعضها البعض منها الآن . فلنفترض أننا التقطنا شريطاً سينمائياً للكون المتمدد خلال فـترة تمتد ملايين عديدة من السنين ، بحيث نسجل تاريخ التمدد كله . ولو أننا عرضنا هذا الشريط عائداً إلى الوراء ، لأظهر لنا تاريخ الكون مقلوباً . وبدلاً من أن تبدو عناقيد المجرات جميعاً مبتعدة الواحدة عن الآخر ، فسيبدو أنها تتحرك الواحد صوب الآخر . . . كلما تراجع الشريط القهقرى ، اقتربت أكثر فأكثر حتى لا يعود بينها أية فجـوات على الإطلاق وإذا واصلنا العودة إلى الوراء ، فـقد نفـترض أنه حتى الأمكنة الموجودة بين النجـوم ستختفى ، بعد أن يملأ الفـضاء المتاح كله بغاز ساخن مركز تركيزاً شديداً تخرج منه النجوم . وينبغى أن يسبق هذا الكلام كله عـبارة «افـتـرضنا» لأن الملاحظات الفلكيـة لا تبين لنا إن كانـت هذه الحالة المكثـفة تكثـيفـاً شديدا قـد وجدت أو لم توجـد على الإطلاق . والنماذج النظرية هى التى تمدنا بالأسباب الوحيدة التى تدعونا إلى افتراض وجودها .

وحتى النمـاذج النظرية ، لا يمكن الوثوق بها فى بيان مـا حدث فى الماضى البعيد ، لأنه لو وجدت حالة الكثـافة الشديدة فإن ما هو معروف عن الصفات الكمية للمادة يوحى بأنه كـانت للصفات الكمية فى مثل هذه

www.ibtesama.com/vb

الحالة تأثيرات هامة . وقد رأينا أن نظرية أينشتين عاجزة عن وصف مثل هذه التأثيرات ، ولهذا لا توجد في واقع الأمر - معلومات موثوق بها على الإطلاق عن حالة الكثافة الشديدة . وبالإضافة إلي ذلك ، فإن إمكانية التأثيرات الكمية تقتضى أنه ما من شيء قد حدث قبل حالة الكثافة الشديدة يمكن أن يؤثر على السلوك التالى للكون ، وهذه كلها أقوال نظرية ، ونستطيع ، آن نستنتج منها فحسب أن الكون قد خرج - فى الواقع - من حالة شديدة الكثافة ، وأن هذه الحالة تمثل الأزمنة الأولى التى ليس من المحتمل أن تحيط بها أية معلومات علمية . وما زال السؤال عما إذا كانت هذه الحالة قد حدثت فعلا أو لم تحدث ، موضع المناقشة ، فالمعلومات الفلكية المتاحة لنا ليست من الدقة الكافية للإجابة على هذا السؤال . ويميل أولئك الأشخاص الذين يعتقدون فى حدوث هذه الحالة - إلى الاشارة إليها بوصفها «بداية الكون» أو «الزمان الذى خلق فيه الكون «أو شيئاً من هذا القبيل . وهذه العبارة لا تعنى أكثر من عبارة «الزمان الأول الذى ليس من المحتمل أن تحيط به أية معلومات علمية» . ويستحسن تجنب مثل هذه العبارات ، لأنها تحمل فى طياتها تضمينات ميتافيزيقية غير مرغوب فيها .

وهناك نماذج أخرى للكون ، تتسق مع المعلومات المتاحة لنا ، ومع قانون أينشتين للجاذبية ، وفى هذه النماذج لا تحدث حالة الكثافة الشديدة على الإطلاق وأشهر هذه النماذج ما يعرف «بنموذج الحالة المتزنة» . فلقد رأينا أنك لا تستطيع - وفقا للمبدأ الكونى - أن تحدد مكانك فى الكون .

www.ibtesama.com/vb

غيـر أن اثنين من الفلكيين على كوكبين فى مـجرتين مخـتلفتين يمكن أن يحددا «متى» يكونان - فكل منهما سـيلاحظ - مثلا - أن الكون آخذ فى النحافة أثناء تمدده ، كما يمكن أن يتفقا على الأزمنة التى يشاهدان فيها أنه قد نخف إلى أى مدى معين . ومهـما يكن من أمر - فإنه لا تستطيع فى نموذج الحالة المتزنة أن تحدد «متى» تكون تمامـاً ، كما لا تـستطيع أن تحدد «أين» أنت . وهذا مـعناه أنه من المفـتـرض فى نموذج الحـالة المتـزنة أن الكون يتبـدى بمظهر إجمـالى واحد - لا بالنسبة للـفلكيين الموجودين فى أمكنة مختلفـة فحسب بل بالنسبـة للفلكيين الموجودين فى نفس المكان أو فى أمكنة مخـتلفة أو فى أوقات مخـتلفة . والتقسـيم إلى مكان وزمان ، الذين يبدو أنه يحدث هنا ، لا يتعارض مع النسبية ، ولا ينطبق إلا على الفلكيين الذى يتـحركـون مع عناقـيد المجـرات . والفلكى الذى يتحـرك بسرعة مختلفة اختلافاً جوهرياً سيقوم بوصف أشد تعقيداً للكون . ونحن نفضل بالطبع النظر إلى هؤلاء الذين يقومون بأوصاف أبسط .

ولكى لا يتغير المظهر الإجمـالى للكون بتغير الزمان ، وعلى الرغم من التمدد ، فمن الضرورى - ضرورة جلية - أنه فى أثناء تخلخل عناقيد المجرات لابد من أن تظهر عناقيد جديـدة لتملأ الفجوات . فمن أين تأتى هذه العناقيد الجديدة ؟ تقول نظرية الحالة المتزنة أنه لابد من أن تظهر المادة فى الفضاء الممتد بين المجرات بمعـدل هو المعدل الضرورى لإلغاء التخلخل الناجم عن التـمدد . وقـد يفتـرض مبـدئياً أن هذه المادة على هـيئـة غاز الإيدروجين ، الذى يتشكل فـيما بعد على هيـئة نجوم ومجرات وعـناقيد

www.ibtesama.com/vb

والمعدل الذى يفترض أن يظهر به الإيدروجين نسبة ضئيلة جداً - ذرة واحدة فى فضاء بحجم كاتدرائية القديس بولس كل ألف سنة - فهى صغيرة إلى درجة تستبعدها معها المشاهدات المباشرة ، ولكنها كبيرة بما يكفى للتعويض عن التخلخل الناجم عن التوسع ، والعملية التى يظهر بها الإيدروجين تسمى فى أغلب الأحيان باسم «الخلق المستمر» ، بيد أن هذه عبارة أخرى تحمل نغمات ميتافيزيقية ومن الأفضل ألا نستخدمها وقد يبدو للوهلة الأولى أن هذه العملية مناقضة لقوانين بقاء الطاقة التى تؤلف شطراً من نظرية أينشتين . وحين نضع فى اعتبارنا التقويس الإجمالى للكون وضعاً تاماً ، فإن الأمر ينتهى إلى أن تكون العملية المقترحة متسقة تمام الاتساق مع نظرية النسبية . ولا يمكن أن يكون المعدل الذى تظهر به الذرات الجديدة - طبعا - أى شىء على الإطلاق ، بل يجب أن تظهر الذرات الجديدة بمعدل هو المعدل المطلوب تماماً للتمدد .

وهكذا توجد نماذج كثيرة للكون قائمة على نظرية أينشتين ، ومتسقة مع المعلومات الفلكية المتاحة لنا . ولكل نموذج من هذه النماذج عيوبه . ولعل أظهر هذه العيوب هو أنها تعطى صورة مهذبة لا تحسب حساباً لحجم المجرات والعناقيد وتركيبها. ويتوقف إنشاء نماذج أكثر تفصيلا على حل بعض الصعوبات الرياضية الخطيرة ، وإلى أن تتحسن معلوماتنا الفلكية فسوف لا نستطيع أن نختار اختياراً حاسماً بين هذه النماذج المختلفة .

www.ibtesama.com/vb

FARES_MASRY
www.ibtesama.com/vb
منتديات مجلة الإبتسامة

www.ibtesama.com/vb

الفصل الثانى عشر

مُواضعَات وقوانين طبيعية

من أصعب المسائل فى كل نزاع أن نميز الخلافات على الوقائع . وقد كان ينبغى ألا يكون هذا التمييز صعباً ، ولكنه صعب فى التطبيق . ويصدق هذا القول على الفيزياء صدقه على الموضوعات الأخرى . فقد ثارت فى القرن السابع عشر مناقشة رهيبة عن ماهية «القوة» ، وهى مناقشة - يبدو من الجلى لنا الآن - أنها كانت تدور عن الكيفية التى يجب أن تعرف بها كلمة «قوة ، بيد أنه كان من المعتقد حينذاك ، أن الأمر يزيد على ذلك كثيراً . ومن أغراض منهج الكميات الممتدة المستخدم فى رياضيات النسبية ، الاستغناء عما هو لفظى (بالمعنى الواسع لهذه الكلمة) فى القوانين الفيزيائية ، ومن الواضح بالطبع - أن ما يعتمد على اختيار الإحداثيات «لفظى» بالمعنى المذكور ، والملاح الذى يغرس مجاديفه فى قاع النهر يسير فى الزورق ، ولكنه يحتفظ بوضع ثابت بالنسبة لحوض النهر ، ما لم يلتقط مجدافه . وقد يجادل الأقزام جدلا لا نهاية له عما إذا كان سائراً أو واقفاً فى مكانه ، وسيكون الجدل دائراً حول ألفاظ ، لا حول وقائع . فلو أننا اخترنا إحداثيات ثابتة بالنسبة للقارب ، يكون سائراً . ونحن نريد أن نعبر عن القوانين الفيزيائية بطريقة يكون من الواضح فيها حين تعبر عن نفس القانون بالإشارة إلى نظامين مختلفين للاحداثيات ،

www.ibtesama.com/vb

وذلك لا فضل ، مفترضين أن لدينا قـوانين مختلفة ، فى الوقت الذى لا يكون لدينا غيـر قانون واحد مصـاغ فى ألفاظ مخـتلفة ، ويتم هذا بمنهج الكميات الممتـدة . وبعض القوانين التى تبدو مستحـسنة فى لغة ، تتعذر ترجمـتها إلى لغة أخـرى . وهذه مستـحيلة بوصفـها قوانين للطبيـعة . فالقوانين التى يمكن ترجمـتها «أية» لغة إحداثيات تتميـز بسمات معينة . وهذه معونة جوهرية فى البحث عـن قوانين الـطبيعة التـى يمكن أن نقبلها نظرية النسبيـة بوصفها قوانين ممكنة . ومن هذه القـوانين الممكنة ، نختار أبسطها . وهو القانون الذى يتنبأ بالحركة الفعليـة للأجسام تنبؤاً صحيحا ، ويمتزج المنطق بالخبرة بنسبة متساوية فى الحصول على هذا التعبير .

بيد أن مشكـلة الوصول إلى القوانين الحقـيقية عن الطبـيعة لا يحل بمنهج الكميات الممتدة وحده ، فلابد أن يضاف إليه قدر معين من التفكير المتأنى . وقد أنجز العلماء بعض هذا التفكير - وخاصة إدنجتون - ومازال باقيا الكثير .

ولنأخذ مـثلا بسـيطا : فلنفترض - كـما يذهب إلى ذلك افـتراض الانكماش الذى وضعــه فتزجيرالد - أن الأطوال فى اتجاه أقــصر منها فى إتجاه آخـر . ولنفـترض أن مـسطرة تشيـر إلى الشمـال هى نصف نفس المسطرة مشـيرة إلى الشرق ، وأن هذا يـنطبق سواء بسواء على الأجـسام الأخرى جـميعـا . هل يكون لهذا الافتـراض أى معنى ؟ ولو أن لديك عصا للصيد طولها خمس عشرة قدما حين تشير إلى الغرب ، ثم حولتها

www.ibtesama.com/vb

إلى الشمال ، إن طولها لا يزال خمس عشرة قدما ، لأن مسطرتك تكون قد انكمشت هى الأخرى ، ولن تبدو أقصر بحال من الأحوال ، لأن عينك قد تأثرت بنفس الطريقة . وإذا استطعت أن تفطن إلى التغيير ، فلن يكون ذلك بالقياس العادى ، بل لابد أن يكون ذلك بمنهج يشبه تجربة ميكلسون - مورلى ، التى استخدمت فيها سرعة الضوء لقياس الأطوال . ويبقى عليك أن تقرر ما إذا كان من الأبسط أن تفترض تغيراً فى الطول أم تغيراً فى سرعة الضوء . والواقع التجريبى هو أن الضوء يستغرق وقتا أطول ليقطع ما تبينه مسطرتك على أنه مسافة معينة فى اتجاه واحد ، منه فى اتجاه آخر - أو ، كما هى الحال فى تجربة ميكلسون - مورلى - أنه ينبغى أن يستغرق وقتا أطول ، ولكنه لا يفعل ذلك . وتستطيع أن تكيف مقاييسك مع مثل هذه الحقيقة بطرق شتى ، وأية طريقة اخترتها ، سيكون ثمة عنصر اصطلاحى أو اتفاقى ، وهذا العنصر يبقى فى القوانين التى تصل إليها بعد أن تكون قد اتخذت قرارك فيما يتعلق بالمقاييس، وهو يتخذ فى كثير من الأحيان صوراً خفية . مراوغة . والواقع أن حذف عنصر الاصطلاح هذا ، صعب صعوبة غير مألوفة ، وكلما توغلنا فى دراسة الموضوع ، بدت لنا الصعوبة أعظم .

وهناك مثل أكثر من ذلك أهمية هو مسألة حجم الإلكترون ، فنحن نجد بالتجربة أن الالكترونات جميعاً لها نفس الحجم . ولكن ، إلى أى مدى تكون هذه واقعة حقيقية تؤكدها التجربة ، وإلى أى مدى تكون نتيجة لمواصفاتنا فى القياس ؟ ولدينا هنا مقارنتان مختلفتان نعقدهما :

www.ibtesama.com/vb

(١) بالنسبة لألكترون واحد فى أزمنة مختلفة ، (٢) بالنسبة لألكترون فى نفس الزمن . ثم نستطيع أن نصل إلى مقارنة إلكترونين فى أزمنة مختلفة بأن نجمع بين (١) ، (٢) . وقد نستبعد أى افتراض يؤثر على الألكترونات جميعاً على السواء ، فمن العبث مثلا أن نفترض أن الألكترونات فى منطقة واحدة من متصل «المكان - زمان» تكون أكبر كلها منها فى منطقة أخرى ، فإن مثل هذا للتغيير يؤثر على أدوات القياس تأثيره على الأشياء المقيسة ، ومن ثم لن يحدث أية ظاهرة قابلة للاكتشاف . وهذا يعادل قولنا إنه لا يتغير هناك على الإطلاق . أما واقعة أن الالكترونين نفس الكتلة - مثلا - لا يمكن أن ينظر إليها على أنها اتفاقية صرفه فإذا أتيحت لنا الدقة والضبط الكافيان ، فإنه يمكن أن نقارن تأثير الكترونين مختلفين على الكترون ثالث . فإذا تساويا فى مثل هذه الظروف ، كما فى وضع يسمح لنا باستنباط المساواة ، بمعنى لا يكون اتفاقياً صرفاً .

ويصف ادنجتون هذه العملية فى الأجزاء المتقدمة من نظرية النسبية بأنها «بناء العالم» والبناء الذى سيشيد هو العالم الفيزيائى ، كما نعرفه ، والمهندس المعمارى الاقتصادى يحاول أن يشيده بأصغر كمية ممكنة من المواد . فهذه مسألة تتعلق بالمنطق والرياضيات . وكلما كانت مهارتنا فى هذين الموضوعين أعظم ، استطعنا أن نبنى بناء حقيقياً ، ولم نقنع بمجرد أكوام من الصخور . ولكن ، قبل أن نستخدم فى بنائنا

www.ibtesama.com/vb

الأحجار التى تزودنا بها الطبيعة ، علينا أن ننحتها وفقاً للأشكال الصحيحة . هذا كله جزء من عملية البناء . ولكى يكون هذا ممكناً ، فينبغى أن يكون للمادة الخام «شىء» من التكوين (يمكن أن نتصور شبيها بالحبة فى الخشب) ولكن أى تكوين يمكن أن تنفع ؟ وبتهذيباتنا الرياضية المتعاقبة نشذب مطالبنا الأصلية حتى تصبح شيئاً ضئيلاً جداً - فإذا أتيح لنا هذا الحد الأدنى الضرورى من التكوين فى المادة الخام ، فإننا نجد أننا نستطيع أن نشيد منه تعبيراً رياضياً يتصف بالصفات التى تحتاج إليها فى وصف العالم الذى نتصوره - وعلى الأخص صفات البقاء التى تتميز بها كمية الحركة والطاقة (أو الكتلة) . ومادتنا الخام تتألف من الحوادث فحسب ، ولكن حين نجد أننا نستطيع أن نبنى منها شيئاً - يبدو - عندما يقاس - أنه لا يفنى ولا يستحدث ، فليس غريباً أن يفضى بنا ذلك إلى الاعتقاد فى «الأجسام» وما هذه الا مجرد تركيبات رياضية من الحوادث ولكن نظراً لدوامها ، فإنها هامة من الوجهة العملية ، وحواسنا (التى تطورت على سبيل الافتراض - نتيجة للاحتياجات البيولوجية) متكيفة لمشاهدة هذه الأحداث ، أكثر من تكيفها مع متصل الحوادث الغفل الذى يعد أكثر أساسية من الناحية النظرية . ومن الغريب - من وجهة النظر هذه - أن ما اكتشفه العلم الفيزيائى من العالم الحقيقى ضئيل جداً : فمعرفتنا محدودة ، لا بالعصر الاتفاقى فحسب ، بل بانتقائية جهازنا الإدراكى أيضاً .

www.ibtesama.com/vb

ومن الممكن - علـى الأخص - خلق ظروف التـمـاثل خلقـا تامـا بوساطة المـواضعات فـيمـا يتعلق بالقـياس ، وليس هناك مـا يدعو إلى افتراض أنـها تمثل أية خاصيـة للعالم الحقيـقى . ويمكن النظر إلى قانون الجاذبيـة نفسه - على حـد قول إدنجتون - على أنـه يعبر عن مواضـعات القـياس فـيـقول : «إن مـواضعـات القـياس تدخل التـمـاثل فى كافـة الاتجاهات[١] isotropy والتجانس فى المكان المقـيس الذى ليس له مقابل فى «علاقـة - التكوين Relation-striucture التى تم مـسحهـا . وهذا التماثل فى كافة الاتجاهات ، وهذا التجانس هما تماما ما يعبر عنهما قانون أينشتين للجاذبية[٢] .

وحدود المعرفة التى تفرضها انتـقائية جهازنا الإدراكى يمكن تصويرها بعدم «فناء الطاقة» . وقد تم اكتشاف ذلك تدريجا بوساطة التجربة ، وبدأ أنه قانون تجريبى متين من قوانين الطبيعة . ولكن ظهر أننا نستطيع - من متـصل «المكان - زمان» الأصلـى ، أن ننشىء تعبـيراً رياضيـا تكون له الصفات التى تجعلـه يبدو غير قابل للفناء . وحينئذ تكـف العبارة القائلة بأن الطاقة لا تفنى عن أن تـكون قضية من قـضايا الفيـزياء ، بل تصبح بدلا من ذلك قضـية من قضايا اللغـة وعلم النفس ، «والطاقة» بوصفـها

---

(١) Isotropy معناها التماثل فى كافة الاتجـاهات ، كأن تحتفظ مسطرة بطول واحد حين تشير إلى الشمال أو حين تشير إلى الشرق .

(٢) نظرية النسبية الرياضية ، ص ٢٣٨ .

www.ibtesama.com/vb

قضــية من قــضايا اللغة - هى اسم الــتعبــير الرياضى مــوضع السؤال ، وبوصفها قـضية من قضايا علم النفس : هى أن حواسنا مـجعولة بحيث نشاهد ما هو التعبير الرياضى إجمالا موضع السؤال ، ونقترب منها أكثر فأكثر كلمــا هذبنا إدراكاتنا الحسية الغفل بوساطــة المشاهدة العلمية . وهذا أقل كثيراً مما اعتاد الفيزيائيون أن يعتقدوا فى أنهم عرفوه عن الطاقة .

وقد يقول القارىء : مــاذا يتبقى إذن للفيزياء ؟ مــاذا تعرف حقاً عن عالم المادة ؟ وهنا يمكن أن نميز ثلاثة أقسام فى الفيزياء . . فهناك أولا ما يندرج فى نظرية النســبيــة المعمــمة أوسع تعــميم ممكن . ثم هناك ثانــياً القوانين التى لا يمكن أن تندرج داخل نــطاق النسبية . وثالثــاً ، هناك ما يمكن أن يســمى بالجغرافــيا . فلننظر فــى كل قسم من هذه الأقــسام على التوالى .

تنبئنا نظــرية النسبيــة - بمعزل عن المواضعــات - أن لحوادث الكون نظاماً ربــاعى الأبعاد ، وأن بين أى حادثتين قــريبتين فى هذا النــظام ثمة علاقة تسمى «الفاصل» وهذا الفاصل قــابل للقياس إذا اتخذنا الاحتياطات المناسبة كما تنبئنا أيضاً بأنه لا يمكن أن يكون «للحركة المطلقة» أو للمكان المطلق ، أو للزمــان المطلق ، أية دلالة فيزيائيــة ، وقوانين الفــيزياء التى تستخدم هذه المفــاهيم غير مقبولة وليس هذا قانوناً فــيزيائياً فى حد ذاته ، ولكنه بالأحرى قاعدة نافعــة تمكننا من أن نرفض بعض القوانين الفيزيائية المقترحة على أنها غير مرضية .

www.ibtesama.com/vb

وفيما عدا ذلك ، لا تحتوى نظرية النسبية إلا على القليل الذى يمكن أن ينظر إليه بوصفه قوانين فيزيائية . فى هذه النظرية قدر كبير من الرياضيات مبيناً أن بعض الكميات المعينة المكونة تكويناً رياضياً ينبغى أن تسلك سلوكا شبيهاً بسلوك الأشياء التى ندركها بحسنا ، وفيها أيضا اقتراح بقنطرة بين علم النفس والفيزياء فى هذه النظرية ، بأن هذه الكميات المركبة تركيباً رياضياً هى ماكيفت حواسنا لإدراكه . بيد أن هذا أو ذاك ليسا من الفيزياء بالمعنى الدقيق .

وجزء للفيزياء الذى لا يمكن فى الوقت الحالى أن يدخل فى نطاق النسبية ، كبير وهام . فليس فى النسبية ما يبين لماذا ينبغى أن توجد إلكترونات وبرتونات ، ولا تستطيع النسبية أن تعطى أى سبب لوجود المادة فى كتل صغيرة . وهذا هو ميدان نظرية الكم ، التى تفسر كثيراً من صفات المادة على النطاق الضيق . وقد وضعت نظرية الكم لتتسق مع نظرية النسبية الخاصة ، بيد أن كل المحاولات التى بذلت منذ ذلك الحين لوضع مركب من نظرية الكم ونظرية النسبية العامة قد باءت بالفشل . ويبدو أن هناك صعوبات قاسية جداً تعترض طريق إدراج هذا الجزء من الفيزياء داخل إطار النسبية العامة . وهناك فى الوقت الحالى صعوبات لا تقل عن ذلك قسوة فى نظرية الكم نفسها «ويعتقد كثير من الفيزيائيين أن مركباً من نظرية الكم ونظرية النسبية العامة قد يحل بعض هذه الصعوبات والموقف الحالى كما رأيناه - هو أن النسبية العامة تعلل صفات المادة على

www.ibtesama.com/vb

نطاق واسع - تعليلاً مرضياً إلى حد كبير ، بينما تعلل نظرية الكم صفات المادة على النطاق الضيق جدا تعليلا مرضياً إلى حد كبير . ومهما يكن من أمر ، فلا توجد أية رابطة ظاهرة بين النظريتين اللهم إلا فى أساسهما المشترك فى نظرية النسبية الخاصة . وهذا الموقف غير مرض ، ومن غير المحتمل أن يدوم ويعتقد أشخاص قلائل أن نظرية النسبية العامة يمكن أن تتسع بطريقة تستطيع معها أن تفسر جميع النتائج التى تفسرها نظرية الكم ، وأن يكون ذلك بطريقة الكم . وكان أينشتين فى أواخر أيام حياته من أولئك الذين يعتقدون ذلك ، وإنما كان الأمر ، فإن كثيراً من الفيزيائيين فى أيامنا هذه يعتقدون أن هذا الرأى خاطىء .

ونظرية النسبية العامة هى أكثر الأمثلة تطرفاً على ما يمكن أن يسمى طريقة الخطوة ثم الخطوة التى تليها next - to net methods فلم يعد هناك ما يدعو إلى اعتبار الجاذبية راجعة إلى تأثير الشمس على كوكب سيار ، ولكن يمكن أن نفكر فيها بوصفها معبرة عن سمات المنطقة التى تصادف فيها وجود الكوكب ، ومن المفترض أن تتغير هذه السمات شيئا فشيئا ، تدريجيا ، وباستمرار ، لا فى وثبات مفاجئة ، كما يتحرك الإنسان من جزء فى متصل «المكان - زمان» إلى جزء آخر . ويمكن النظر إلى تأثيرات الكهرومغناطيسية بطريقة مماثلة ، ولكن ما إن نجعل الكهرومغناطيسية متفقة مع نظرية الكم حتى تتغير طبيعتها تغيراً تاماً ، إذ يختفى المظهر المتصل اختفاء كاملا ويحل محله السلوك المنفصل الذى

www.ibtesama.com/vb

تتميز به - كما رأينا آنفاً - نظرية الكم ، وإذا حاولنا - على أية حال - أن نطبق على الجاذبية هذه الأفكار الخاصة بنظرية الكم . فإننا نجد أنها لا تتلاءم تلاؤماً صحيحاً ، وأنه من الضرورى ، إدخال شىء من التعديل على هذه النظرية أو على تلك . أو على كليهما معاً . وأما ما هو هذا التعديل المطلوب ، فشىء لم نعرفه بعد . وقد يكون من الممكن شرح هذه الصعوبة بطريقة مختلفة نوعا ما ، فحين يشاهد فلكى الشمس ، فإن الشمس تحتفظ بعدم اكتراث متعال لما يقوم به من إجراءات . ولكن ، حين يريد عالم فى الفيزياء أن يكتشف ما يحدث لذرة ما ، فإن الجهاز الذى يستخدمه أكبر كثيراً من الشىء الذى يلاحظه بدلا من أن يكون أصغر منه ، ومن المحتمل أن يكون لهذا الجهاز تأثير على الالكترون وقد وجد أن أنسب الأجهزة لتحديد موقع ذرة خليق بأن يؤثر على سرعتها ، وأن أفضل الأجهزة لتحديد السرعة كفيل بالتأثير على موقعها ، وهذا لا يسبب أية صعوبة حين تكون نظرية الكم للذرات موضوعة لتتمشى من نظرية النسبية الخاصة ، لأن الجاذبية تهمل فى هذه الحالة . ويفترض أن يكون متصل «المكان - زمان » مستويا، سواء أكان فيه ذرات أم لم يكن ، ولكننا إذا حاولنا أن نجعل نظرية الكم متمشية مع نظرية النسبية العامة ، فلا ينبغى إهمال الجاذبية «وذلك حتى يتوقف منحنى «المكان - الزمان» على المناطق المجاورة للذرة وأياً كان الأمر ، فإن نظرية الكم توضح توضيحا تاما - كما رأينا لتونا - أننا لا نستطيع أن نعرف دائما أين توجد الذرات وهذا هو أساس الصعوبة .

www.ibtesama.com/vb

وأخيراً نصل إلى الجغرافيا ، التى أدخل تحتها التاريخ . والفصل بين التاريخ والجغرافيا يقوم على الفصل بين الزمان والمكان : وحين يمزج الاثنين فى متصل واحد ، فإننا نحتاج إلى كلمة واحدة لوصف مزيج الجغرافيا والتاريخ . وسأستخدم كلمة «جغرافيا» وحدها بهذا المعنى الواسع ، إيثاراً للبساطة .

وتشمل الجغرافيا بهذا المعنى كل ما يميز جزءاً من «متصل الزمان - مكان» عن جزء آخر . فثمة جزء تحتله الشمس ، وثمة جزء آخر تحتله الأرض ؛ والمناطق المتوسطة بينها تحتوى على موجات الضوء . ولكنها لا تحوى على أية مادة (اللهم إلا شىء ضئيل جداً هنا أو هناك) . وتوجد درجة معينة من الرابطة النظرية بين الوقائع الجغرافية المختلفة ، وإقرار ذلك هو هدف القوانين الفيزيائية .

ونحن فى وضع يتيح لنا بأن تحسب الحقائق الكبيرة عن النظام الشمسى فى الماضى والمستقبل لفترات واسعة من الزمان . ولكنا فى هذه الحسابات جميعاً نحتاج إلى أساس من الواقع الغفل . والوقائع تترابط فيما بينها ، غير أن الوقائع لا يمكن استنباطها إلا من وقائع أخرى فقط . لا من القوانين العامة وحدها ، وهكذا تتخذ وقائع الجغرافيا وضعاً مستقلا معيناً فى الفيزياء ! ولن يمكننا أى قدر من القوانين الفيزيائية من استنباط واقعة فيزيائية إلا إذا كنا نعرف وقائع أخرى نتخذها مادة

www.ibtesama.com/vb

لاستنباطها . وحين أتحدث هنا عن (الوقـائع) . أفكر فى وقائع الجغرافيا الخاصة ، بالمعنى الواسع الذى استخدم فيه هذه الكلمة .

ونحن نعنى فى نظرية النسبية بالبناء لا بالمادة التى يتألف منها البناء أما فى الجغرافيا - فالمادة - من جهة أخرى - هى التى تعنينا . وإذا كان هناك أى اختـلاف بين مكان وآخر ، فلابد أن يكون هناك اختـلافات فى المادة الموجودة فى هذا المكان عن المادة الموجـودة فى المكان الآخر ، أو أن فى أحدهما مادة بينما لا توجـد مادة فى المكان الآخر ، والاحتمال الأول من هذه الاحتمالات هو الذى يبدو أكـثر إرضاء . وقد تحاول أن نقول . توجد إلكترونات وبروتونات والجسيمات الذرية الفرعية الأخرى ، والباقى فارغ . بـيد أنه فى المناطق الفـارغة توجـد موجـات الضوء ، بحـيث لا نستطيع أن نقـول إنه لا يوجد ثمة شىء فـيها . بل إننا لا نستطيع وفـقا لنظرية الكم - أن نحدد أين توجـد الأشياء بالضبط ، وإنما مـن المحتمل أن يوجـد الكتـرون فى هذا المكان لا فى ذاك ويعـتـقـد بعض الناس أن الموجات الضـوئية ، والجزئـيات أيضاً ، مـجرد اختـلالات فى الأثير ، والبعض الآخر يقنع بقـوله إنها مجرد اختلالات فـحسب ، بيد أنه على أية حال ، تقع الحوادث حيثما وجدت مـوجات ضوئية أو جسيمات وهذا هو على كل ما نسـتطيع أن نقوله عن الأماكن التى يحتـمل أن تكون بها طاقـة بصورة أو بأخـرى ، مادامت الطاقـة قد انتـهت إلى أن تكون بناء رياضياً مـشيداً من الحوادث . نستطيـع أن نقول إذن إن هناك حوادث فى

www.ibtesama.com/vb

أرجاء متصل «المكان - زمان» جميعاً ، ولكن لابد أن تكون من نوع مختلف إلى حد ما طبقاً للمنطقة التى تتناولها ، وهل تحتوى على إلكترون أو بروتون ، أو هى من نوع المناطق الذى نسميه عادة مناطق خاوية ، أما فيما يتعلق بالطبيعة الأصلية لهذه الحوادث ، فلا نستطيع أن نعرف عنها شيئاً ، اللهم إلا إذا تصادف أنها حوادث فى حياتنا الخاصة . وينبغى أن تكون إدراكاتنا الحسية ومشاعرنا جزءاً من المادة الخام للحوادث التى ترتبها الفيزياء فى نموذج ، أو بالأحرى ، التى تجدها مرتبة فى نموذج . وأما فيما يتعلق بالحوادث التى لا تؤلف جزءاً من حياتنا الخاصة ، فإن الفيزياء تخبرنا بنماذجها . ولكنها عاجزة تماماً عن أن تخبرنا بما هى فى حد ذاتها . ولا يبدو أن هذا من الممكن أن يكتشف بأى منهج آخر .

www.ibtesama.com/vb

FARES_MASRY
www.ibtesama.com/vb
منتديات مجلة الإبتسامة

www.ibtesama.com/vb

الفصل الثالث عشر

إلغاء « القوة »

تتحرك الأجسام - وفقاً لنسق نيوتن - فى خطوط مستقيمة وبسرعة منتظمة إذا لم تخضع لتأثير أية قوى ، وحين لا تتحرك الأجسام على هذا النحو ، فإن تغير حركتها يعزى إلى « قوة » ما . وتبدو بعض القوى معقولة بالنسبة لخيالنا : كالقوة التى تبذل بوساطة حبل أو وتر ، أو الناشئة عن اصطدام الأجسام ، أو بأى ضرب ظاهر من ضروب الشد أو الجذب وفهمنا المتخيل الظاهرى لهذه العمليات - وفقاً لما شرحناه فى فصل سابق - خاطىء تمام الخطأ ، وكل ما يعنيه حقاً هو أن خبرتنا الماضية تمكننا من التنبؤ - قل ذلك أو كثر - بما سيجرى دون حاجة إلى حسابات رياضية . بيد أن القوى التى تنطوى عليها الجاذبية ، وأشكال الفعل الكهربائى الأقل ألفه لا تبدو - بهذه الطريقة - طبيعية لخيالنا . ويبدو من الغريب أن الأرض تطفو فى فراغ ، والشىء الطبيعى الذى نفترضه هو أنها ينبغى أن تسقط . ولهذا لابد من أن ترتكز على فيل والفيل على سلحفاة ، كما ذهب إلى ذلك بعض المفكرين القدماء . وقد أدخلت نظرية نيوتن - بالإضافة إلى التأثير عن بعد - ابتكارين متخيلين آخرين : الابتكار الأول هو أن الجاذبية ليست موجهة دائما وبصورة جوهرية إلى أسفل ، أى نحو مركز الأرض ، والابتكار الثانى هو أن

www.ibtesama.com/vb

الجسم الذى يدور ويدور فى دائرة بسرعة منتظمة ، «لا يتحرك بانتظام» بالمعنى الذى تستخدم فيه هذه الجملة بالنسبة للأجسام التى لا تخضع لأية قوى ، وإنما تنحرف باستمرار عن المسار المستقيم ، صوب مركز الدائرة ، مما يتطلب قوة تجذبه فى هذا الاتجاه . ومن ثم ، فقد توصل نيوتن إلى الرأى القائل بأن الكواكب السيارة تنجذب إلى الشمس بواسطة قوة ، تسمى الجاذبية .

ولقد نسخت نظرية النسبية - كما رأينا - هذه النظرة برمتها . فلم تعد هناك «خطوط مستقيمة» بالمعنى الهندسى القديم ، وإنما هناك ، أقرب الخطوط إلى الاستقامة » أو (خطوط جيوديسية) . غير أن هذه تتطلب الزمان تطلبها للمكان . وشعاع الضوء الذى يمر من خلال النظام الشمسى لا يتحرك في نفس الفلك الذى يتحرك فيها شهاب ما ، من وجهة النظر الهندسية ، ومع ذلك فإن كلا منهما يتحرك وفقا لخط جيوديسى ، وهكذا تتغير الصورة المتخيلة بأكملها . وربما قال شاعر إن الماء يجرى هابطاً على سفح الجبل لأنه منجذب نحو البحر ، غير أن الفيزيائى أو أى إنسان عادى ؛ قد يقول إن المياه تتحرك - كما تتحرك - عند كل نقطة ، بسبب طبيعة الأرض فى تلك النقطة دون نظر إلى ما ينتظرها بعيداً عنها . وكما أن البحر لا يسبب جريان الماء نحوه ؛ فكذلك لا تسبب الشمس تحرك الكواكب حولها . فالكواكب تدور حول الشمس لأن هذا الدوران هو أسهل شىء تستطيع أن تفعله بالمعنى الفنى لأقل حركة وهو أسهل شىء

www.ibtesama.com/vb

تستطيع أن تفعله بسبب طبيعة المنطقة التى توجد فيها تلك الكواكب لا بسبب تأثير صادر عن الشمس .

والضرورة المزعومة التى تجعلنا نعزو الجاذبية إلى قوة تجذب الكواكب نحو الشمس قد نشأت عن التصميم على الإبقاء على الهندسة الإقليدية بأى ثمن . فإذا افترضنا أن المكان إقليدى ، على أنه ليس فى الحقيقة كذلك ، فعلينا أن نهيب بالفيزياء لتصحح الأخطاء التى تقع فيها هندستنا ؛ وسنجد أن الأجسام لا تتحرك فيما نصر على اعتباره خطوطاً مستقيمة . وسنطالب بسبب لهذا السلوك . وقد عرض إدنجتون هذه المسألة فى وضوح يبعث على الإعجاب . وقد افترض أن هناك فيزيائياً يعتنق صيغة «الفاصل» المستخدمة فى نظرية النسبية الخاصة وهى صيغة لازالت تفترض أن مكان المشاهد إقليدياً . ويواصل كلامه قائلا :

مادام من الممكن مقارنة الفواصل intervls بالمناهج التجريبية ، فسرعان ما سيكتشف أن صيغته (عن الفاصل) لا يمكن أن تتفق مع نتائج المشاهدة إلى أن يدرك خطأه ، بيد أن العقل لا يتخلص بهذه السرعة من فكرة مستبدة . ومن المرجح أن مشاهدنا سيستقر على رأيه وسيعزو انحراف المشاهدات إلى تأثير ما ، يوجد ويؤثر على وجود الأجسام التى يستخدمها فى اختياره ، وسيدخل عاملا فائقاً على الطبيعة يستطيع أن يوجه إليه اللوم على نتائج خطئه . والاسم الذى يطلق على أى عامل يسبب انحرافاً عن الحركة المنتظمة فى خط مستقيم هو «القوة» وفقاً

www.ibtesama.com/vb

لتعـريف نيوتن للقـوة . وهكذا يوصف العـامل الذى دخل نتيـجة لخطأ مشاهدنا على أنه مجال القوة field of force ، **ومجال القوة يمثل الفرق بين الهندسـة الطبيـعيـة لنظام مـتسـق ، والهندسـة المجـردة المنسوبة إليـه اعتباطاً** [1] .

ولو تعلم الناس تصـور العالم بهـذه الطريقة الجـديدة ، دون الفكرة القديمة عـن «القوة» ، فـسـوف يغـير ذلك - لا من خـيالهم الفـيزيائى فحسب ، بل من أخلاقهم وسياستهم أيضاً ، وسيكون هذا التأثير الأخير لا منطقيـاً تماماً ، ولكنه مع ذلك لن يكون أقـل احـتمالا لـهـذا السبب عينه ، وتبدو الشمس فى نظرية نيـوتن عن النظام الشمسى - أشبه بملك على الكواكب أن تطيع أوامـره - أما فى عـالم أينشتين فـثمة مـزيد من الفـردية ، وقليل من الكم عن عالم نيـوتن . كمـا إن النشاط فى عـالم أينشتين أقل كـثيراً منه فى عـالم نيوتن أيضاً : فـقد رأينا أن الكسل هو القانون الأساسى فى كون أينشتين . وقـد أصبحت كلمة حركى (دينامى) dynamie تعنى بلغة الصحف نشطا وقـوياً . ولكن لو أنها كانت تعنى «تصـوير مبـادىء الديناميـكا» لكان ينبـغى أن تطبق علـى الشعـوب فى الأجواء الحارة أولئك الذين يجلسون تحـت أشجار الموز ينتظرون أن تسقط الثمار فى أفواههم وآمل أن يعنى الصحفيون - حين يتحدثون فى المستقبل

---

(١) النظرية الرياضية للنسبية ص ٣٧ - ٣٨ . والجملة الموضوع تحتها خط مكتوبة بالحروف المائلة فى الأصل .

www.ibtesama.com/vb

عن شخصية «دينامية» فهو الشخص الذى يحدث أقل اضطراب فى اللحظة الحاضرة . دون أن يفكر فـى النتائج البعيدة وإذا استطعت أن أسهم فى الوصول إلى هذه النتيجة ، فلن يكون ما كتبت عبثاً .

وقد كان من المعتاد أن يستنبط النـاس من قوانين الطبيعة الحجج التي يرتكز عليها ما ينبـغى أن نفعله . وهذه الحجج تبدو إلى خطأ . ذلك أن محاكاة الـطبيعة قد تكون مجـرد عبودية . ولكن إذا كان للطبيعـة - كما صورها أينشتين - أن تكون نموذجاً لنا ، لبدأ أن الفوضويين هم أصحاب الحجة الأقـوى . والكون الفيزيائى منظم لا لأن هناك حكومـة مركزية ، بـل لأن كـل فرد يهـتم بشأنه الخاص . ويصطدم فـيه جسيـمان من المادة أبداً ، وإذا اقترب أحدهما من الآخر اقترابا لائقا ، تحرك كل منهما بعيداً عن الآخر . ولو أن رجلا ألقى القبض عليه لأنه ضرب رجلا آخر ضربة قاضية أوقـعته على الأرض ، فإنه يكون صادقا من الناحـية العلمية ، إذا دافع عن نفســه بأنه لم يلمسه قط ، ومـا حدث هو وجود تل فى مـتصل «المكان - زمان» فى منطقة أنف الـرجل الآخر ، فكان أن وقع إلى أسفل التل .

ويبدو أن إلغـاء «القوة» يتصل بإحـلال النظر محل اللمس بوصـفه مصدراً للأفكار الفـيزيائية ، كما شـرحنا ذلك فى الفصل الأول . فحين تتحرك صورة فى مرآة ، لا نعتقد أن شـيئاً قد دفعها . وفى الأماكن التى توجـد بها مـرآتان كبـيرتان إحـداهما فى مـواجهـة الأخرى . قـد نرى

www.ibtesama.com/vb

انعكاسات لا حصر لها لشيء واحد بعينه ، فلنفترض أن شخصاً يضع قبعة عالية علي رأسه يقف بين المرآتين ، فسيكون هناك عشرون أو ثلاثون قبعة عالية في الانعكاسات . وافترض الآن أن شخصاً أوقع قبعة ذلك السيد المهذب بعصا ، في هذه الحالة ستقع العشرون أو الثلاثون قبعة في نفس اللحظة . وسنعتقد أن الأمر يحتاج إلى قوة ما للإيقاع بالقبعة العالية الحقيقية ، ولكننا سنعتقد أن القبعات العشرين أو الثلاثين الباقية قد وقعت من تلقاء نفسها - إن صح هذا التعبير - أو من مجرد رغبة في المحاكاة فلنحاول أن نفكر في هذه المسألة بمزيد من الجدية .

من الجلي أن شيئاً ما يحدث حين تتحرك صورة في مرآة . وتبدو هذه الحادثة - من وجهة نظر البصر - حقيقية تماماً كأنها لم تكن في مرآة بيد أن شيئاً لم يحدث من وجهة نظر اللمس أو السمع ، وحين تقع القبعة العالية الحقيقية ، فإنها تحدث ضجة ، أما الانعكاسات العشرون أو الثلاثون فإنها تسقط دون أن تحدث صوتا . وإذا سقطت القبعة على طرف قدمك ، فسوف تشعر بها ، ولكننا نعتقد أن الأشخاص العشرين أو الثلاثين في المرآتين لا يشعرون بشيء ، مع أن القبعات تقع على أطراف أقدامهم أيضاً . غير أن هذا كله صادق بالنسبة لعالم الأفلاك فهذا العالم لا يحدث أية ضجة لأن الصوت لا يمكن أن ينتقل خلال الفراغ . كما أنه لا يسبب أية «مشاعر» حسبما نعرف - لأنه لا وجود لشخص في نفس النقطة «للشعور» به ، ومن ثم فإن عالم الإفلاك يكاد لا يبدو

www.ibtesama.com/vb

«حقيقيا» أو «صلبا» كالعالم الموجود فى المرآة ، كما أنه لا يحتاج مثله إلى أية «قوة» لكى تجعله يتحرك .

وربما أحسن القارىء أننى أنغمس فى سفسطة لا غناء فيها ، ولعله يقول : هذه الصورة فى المرآة هى على كل حال إنعكاس لشىء صلب والقبعة العالية التى توجد فى المرآة لا تسقط إلا نتيجة للقوة التى استخدمت بالنسبة للقبعة العالية الحقيقية . والقبعة العالية الموجودة في المرآة لا تستطيع أن تنغمس فى سلوك صنعها ، وإنما عليها أن تكون نسخة من سلوك القبعة الحقيقة . وهذا يبين لنا إلى أى حد تختلف هذه الصورة عن الشمس والكواكب . «لأنها» ليست مرغمة على أن تحاكى باستمرار نموذجاً سابقاً . وهكذا عليك أن تتخلى عن التظاهر بأن صورة ما غير حقيقية مثل صورة الأجرام السماوية .

وهناك بالطبع نصيب من الحقيقة فى هذا القول ، والنقطة هى أن نكتشف ماهى هذه «الحقيقة» على وجه الدقة . فالصور - بادىء ذى بدء - ليست «خيالية» . حين تشاهد صورة ما ، فمن المؤكد أن أمواجاً ضوئية حقيقية تصل إلى عينيك ، وإذا علقت رداء على المرأة فسوف تنقطع هذه الموجات الضوئية عن الوجود . ومع ذلك ، فهناك اختلاف بصرى محض بين «الصورة» والشىء «الحقيقى» . وهذا الاختلاف البصرى مرتبط بمسألة المحاكاة هذه . فأنت حين تعلق ثوباً على المرآة ، فإن هذا لا يؤثر على الشىء «الحقيقى» ولكنك حين تحرك الشىء الحقيقى بعيداً ،

www.ibtesama.com/vb

فإن الصورة تختفى أيضاً . وهذا ما يجعلنا نقول إن الموجات الضوئية التى تصنع الصـورة لا تنعكس إلا على سطح المرآة ، وإنهـا لا تأتى حقـاً من نقطة خلفها . بـل من الشىء «الحقيقى» ولدينا هنا مثـل لمبدأ على جانب عظيم من الأهمية . فـمعظم حوادث الكون ليست منعـزلة ، وإنما أعضاء فى مجموعات مماثلة - قل هذا التماثل أو كثر - من الحوادث ، بحيث أن كل مجـموعة تـرتبط بطريقة محـدودة بمنطقة صـغيرة مـعينة من مـتصل «الزمان - ومكان» . هذا هو الحال بالنسبة للمـوجات الضوئية التى تجعلنا نرى الشىء وإنعكاسـه فى المرآة ، فكلاهمـا ينبـعث عن الشىء بوصفـه مركزا . وإذا وضـعت كرة معتمـة حول الشىء على مسافة مـعينة ، فإن الشىء وانعكاسه لا يظهـران بالنسبة لأية نقطة خـارج الكرة . ولقد رأينا أن الجاذبـية - على الرغم من أنهـا لم تعد فـعلا عن بعـد - فمـا زالت مرتبطة بمركز ، فهناك - إن صح هذا التعبيـر - تل مرتب ترتيباً متماثلا يحيط بقيمتها ، والقـمة هى المكان الذى نتصور الجسم فيه ، وهذا المكان مرتبـط بمجال الجاذبيـة موضع البـحث . ويجمع الحس السليـم - إيثاراً للبسـاطة - الحوادث التى تؤلف مجـموعة واجـدة بالمعنى السابق . وحين يرى شخصـان الشىء نفسه تقع حادثتان مـختلفتان ، ولكنهمـا حادثتان تنتميان إلى مجموعـة واحدة ، وترتبطان بمركز واحد بعينه . وهذا ينطبق أيضاً حين يسمع شخصان نفس الضجة . وهكذا يكون الإنعكاس فى مرآة ما أقل «حقيقة» من الـشىء «المنعكس» حتى من وجهة نظر بصرية ، لأن الموجات الضوئية لا تنتشر فى «جميع» الاتجاهات من المكان الذى يبدو أن

www.ibtesama.com/vb

فيه الصورة ، وإنما في الاتجاهات أمام المرآة فحسب ، وبقدما يبقى الشيء المنعكس في مكانه . وهذا يصور لنا فائدة تجميع الحوادث المترابطة حول مركز على النحو الذى ارتأيناه آنفاً .

وحين نفحص التغيرات التى تطرأ فى مجموعة من الأشياء نجد أنها نوعان ، تغيرات لا تؤثر إلا على عضو من المجموعة ، وتغيرات تحدث تعديلات مترابطة فى أعضاء المجموعة كلها . فإذا وضعت شمعة أمام مرآة ، ثم علقت ثوباً على المرآة فإنك لا تغير إلا انعكاس الشمعة كما ترى من أماكن متباينة وإذا أغمضت عينيك ، فإنك تغير مظهرها بالنسبة لك ، ولا تغير مظهرها بالنسبة لغيرك . وإذا وضعت كرة حمراء حولها على بعد قدم واحد ، فإنك تغير مظهرها على بعد أية مسافة تزيد على قدم . وأنت ، فى هذه الحالات جميعاً لا تنظر إلى الشمعة نفسها على أنها قد تغيرت ، والواقع أنك فى كل هذه الحالات ، تجد أن هناك مجموعات من التغيرات المرتبطة بمركز مختلف ، أو بعدد من المراكز المختلفة . وحين تغمض عينيك - مثلا - فإن عينيك - لا الشمعة - تبدوان مختلفين بالنسبة لأى مشاهد آخر ، ذلك أن مركز التغييرات التى حدثت موجود فى عينيك . ولكنك حين تطفىء الشمعة ، فإن مظهرها يتغير بالنسبة «لكل مكان» ، وفى هذه الحالة تقول إن التغير قد طرأ على الشمعة . والتغيرات التى تطرأ على شىء ما هى التغيرات التى تؤثر على مجموعة الحوادث كلها التى تتمركز حول هذا الشىء . وهذا كله ليس

www.ibtesama.com/vb

سوى تفسير للحس السليم ، ومحاولة لشرح ما نعنيه بقولنا إن صورة الشمعة فى المرآة أقل «حقيقة» من الشمعة . وليست هناك مجموعة مترابطة من الحوادث موجودة كلها حول المكان الذى تبدو فيه الصورة ، وتتمركز التغيرات التى تطرأ فى الصورة عن الشمعة ، لا عن نقطة تتعلق بالمرآة . وهذا يعطى لنا معنى قابلا للتحقق من صدقه عن القضية القائلة إن الصورة ليست «سوى» إنعكاس ، كما تمكننا فى الوقت نفسه من أن نعد الأجرام السماوية - وإن كنا لا نستطيع إلا أن نراها ولا نستطيع أن نلمسها - بوصفها أكثر «حقيقة» من الصورة الموجودة فى المرآة .

ونستطيع أن نبدأ الآن فى تفسير فكرة الفطرية السليمة عن «تأثير» جسم على آخر ، وهو تفسير يجب أن نقوم به إذا أردنا أو نفهم حقيقة ما يعنيه إلغاء «القوة» . فلنفترض أنك دخلت حجرة مظلمة . وأدرت زر الكهرباء ، حينئذ يتغير مظهر كل شىء فى الحجرة . ولما كان كل شىء فى الحجرة يصبح مرئياً لأنه يعكس النور الكهربائى ، فإن هذه الحالة مماثلة حقاً لحالة الصورة فى المرآة ، فالنور الكهربائى هنا هو المركز الذى تصدر عنه التغيرات جميعاً ، وفى هذه الحالة ، يفسر «التأثير» بما قلناه آنفاً . وأهم من هذه الحالة ، الحالة التى يكون فيها التأثير حركة فلنفترض أنك أطلقت سراح نمر وسط حشد من الناس حينئذ سوف يتحركون جميعاً ، وسيكون النمر هو مركز حركاتهم المتباينة . وسيستنتج الشخص الذى يرى الناس ولكنه لا يرى النمر ، أن هناك

www.ibtesama.com/vb

شيئـاً طارداً فى تلك النقطة . ونقول فى هذه الحالة إن للنمـر تأثيراً على الناس ، وقد نصف فـعل النمر عليهم ، كـأن له طبيعـة القوة الطاردة . وأياً كان الأمـر ، فنحن نعلم أنهم يلوذون بالفـرار بسبب شـىء يحدث «لهم» ، لا لمجـرد أن النمـر مـوجـود حـيث هو إنـهم يهـربون لأنهم يستـطيعون أن يـروه وأن يسمعـوه ، أى لأن موجـات معـينة تصل إلى أعـينهم وإلى آذانهم ، وإذا أمكن أن تصلهم تـلك الموجات دون وجـود النمر ، فإنهم سيهربون بنفس السـرعة ، لأن المنطقة المجاورة لهم ستبدو غير سارة تماماً .

فلنحاول الآن تطبيق اعتبارات مماثلة على جاذبية الشمس . إن «القوة» التى مارستها الشمس لا تخـتلف عن القوة التى يمارسها النمر إلا فى أنها جاذبـية بدلا من أن تكون طاردة . وبدلا من أن تفـعل بواسطة مـوجات الضـوء أو الصوت فـإن الشمس تكتـسب قـوتها الظاهرة من خـلال هذه الحقيقة وهى وجود تغيـرات فى متصل «المكان - زمان» حول الشمس من جمـيع أقطارها . وهذه التغـيرات ، وهى أشـد بالقرب من مـصدرها ، كصوت النمر سواء بـسواء ، وكلما ابتعدنا . قلت شيئا فـشيئاً ، والقول بأن الشمس «تسبب» هذه التغيـرات فى متصل «المكان - زمان» لا يضيف شيئاً إلى معرفتنا . فما تعرفه هـو أن التغيرات تجرى وفقاً لقاعدة معينة ، وأنها تتجمع بصـورة متماثلة حول الشمس بوصفهـا مركزاً . ولا تضيف لغة العلة والمعلول إلا عـدداً من التخيـلات الخارجة عن الموضوع خـروجاً

www.ibtesama.com/vb

تاماً إذ ترتبط بالإرادة ، والتوتر العضلى ، وبأشياء من هذا القبيل . وما نستطيع أن نؤكده - قل ذلك أو كثر - هو مجرد الصيغة التى يتغير وفقاً لها متصل الزمان والمكان بواسطة وجود المادة الجاذبة . وأصح من ذلك : أننا نستطيع أن نؤكد أى نوع من أنواع متصل «المكان - زمان» «يكون» حضور المادة الجاذبة «وحين لا يكون متصل «المكان - زمان» إقليدياً على وجه الدقة - فى منطقة معينة ، ولكنه ذو طابع ، «لا إقليدى» يظهر أكثر فأكثر كلما اقتربنا من مركز معين وحين يخضع الإفتراق عن إقليدس لقانون معين فإننا نصف هذه الحالة وصفا موجزاً بأن نقول إن هناك قوة جاذبة فى المركز ، بيد أن هذا ليس سوى مجرد تعليل مختصر لما نعرف . وما نعرفه يتعلق بالأماكن التى «لا توجد» فيها المادة الجاذبة ، ولا يتعلق بالمكان الذى توجد فيه ، وهكذا ، فإن لغة العلة والمعلول (التى تعد «القوة» حالة جزئية منها) ليست إلا اختزالا مريحا لأغراض معينة ، ولا تمثل أى شىء له وجود حقيقى فى العالم الفيزيائى .

وماذا عن المادة ؟ هل المادة لا تزيد هى أيضا عن كونها اختزالا مريحاً ؟ ولما كان هذا السؤال سؤالا كبيراً ، فإنه يتطلب فصلا قائماً بذاته .

www.ibtesama.com/vb

الفصل الرابع عشر

ما المادة ؟

السؤال « ما المادة ؟ » من النوع الـذى يسأل الميتافيـزيقون ، ويجاب عليه فى كتب هائلة تتسم بغموض يحل عن التصديق . بيد أننى لا أسأل هذا السؤال بوصفى ميـتافيزيقياً ، وإنما أسأله كـما يسأله شخص يريد أن يكتشف مـا هى الأخلاقيات الكامنة وراء الفـيزياء الحديثة ونظرية النسـبية على وجه التخصـيص . ومن الجلى مما عرفناه عن هذه النظرية أن المادة لا يمكن أن نتصورها كما اعتدنا على تصورها من قبل . وأعتقد أننا نستطيع أن نقول الآن ما هو التصور الجديد .

كان هناك تصوران تقليديان للمادة ، وكان لكل منهما أنصاره منذ أن بدأ التفكير العلمى النظرى - كـان هناك الذريون الذين يعتقدون أن المادة تتألف من كتل صغيرة جداً لا يمكن تقسيمها أبداً ، وكان من المفروض أن هذه الكتل يصطدم بعضها بالبـعض الآخر ، ثم ترتد بطرق متعددة . لم يعد من المفروض - بعد نيوتن - أن تصطـدم هذه الكتل بعضها بالبعض الآخر . فعـلا ، ولكنها تتجاذب وتتنافـر ، وتتحرك فى أفلاك بعـضها حول البعض الآخـر وكان هناك أولئك الذين يعتقدون أن شـيئاً من المادة فى كل مكان ، وأن الفراغ الحقيقى مسـتحيل . وكان ديكارت يعتنق هذا الرأى ، ويعزو حركات الكواكب إلى دوامات فى الأثير . وتسببت نظرية

www.ibtesama.com/vb

نيوتن فى الجاذبية فى الغض من قيمة الرأى القائل بأن المادة موجودة فى كل مكان ، وخصوصاً عندما اعتقد نيوتن وتلاميذه أن الضوء راجع إلى جزيئات حقيقية تنتقل من مصدر الضوء . ولكن حين دحضت نظرية الضوء ، وثبت أن الضوء يتألف من موجات ، بعث الأثير من جديد حتى يوجد شيء يمكن أن يتموج . وذات نصيب الأثير من الاحترام حين وجد أنه يلعب نفس الدور فى الظواهر الكهرومغناطيسية ، كما يفعل ذلك في انتشار الضوء ، بل كان من المأمول أن تكون الذرات نوعًا من الحركة فى الأثير . وفى هذه المرحلة ، كان الرأى الذرى عن المادة يعانى فى جملته الأمرين .

فإذا تركنا الآن نظرية النسبية جانبًا وجدنا أن الفيزياء الحديثة قد زودتنا ببرهان عن التركيب الذرى للمادة العادية، دون أن تفند الحجج المؤيدة لفكرة الأثير الذى لا يعزى إليه مثل هذا التركيب. وكانت النتيجة نوعًا من التوفيق بين الرأيين ، فأحدهما ينطبق على ما يسمى المادة «الغليظة»، والآخر ينطبق على الأثير . ولم يكن ثمة شك بالنسبة للإلكترونات والبروتونات ، وإن لم يكن من الممكن - كما سنرى ذلك قريبًا - تصورها كما كانت الذرات تتصور تصوراً تقليدياً . والحقيقة هى - على ما أعتقد - أن النسبية تتطلب التخلى عن التصور القديم «المادة» الذى أصابته عدوى الميتافيزيقا المرتبطة بالجوهر ، وبمثل وجهة نظر ليست ضرورية فى الواقع فى معالجة الظواهر . وهذا هو ماعلينا الآن أن نبحثه .

www.ibtesama.com/vb

كانت قطعة المادة - فى الرأى القديم - شيئاً يبقى كله خلال الزمان . ولا تكون فى أكثر من مكان واحد فى زمن معين ومن الجلى أن هذه الطريقة فى النظر إلى الأشياء مرتبطة بالانفصال التام بين المكان والزمان الذى كان الناس يؤمنون به سابقًا . وحين نستبدل متصل «الزمان - مكان» بالزمان والمكان ، فإن من الطبيعى أن نتوقع اشتقاق العالم الفيزيائى من مقومات محدودة فى المكان والزمان على السواء . وهذه المقومات هى ما نسميه «الحوادث» . والحادثة لا تبقى ولا تتحرك كقطعة المادة التقليدية ، إنها توجد فى اللحظة التى تقع فيها ثم تنتهى . وهكذا تتحلل قطعة المادة إلى سلسلة من الحوادث . وكما كان الجسم الممتد - فى الرأى القديم - مكونًا من عدد من الجسيمات ، فكذلك كل جسم -لأنه ممتد فى الزمان - ينبغى أن ينظر إليه على أنه مؤلف مما يمكن أن نسميه «جسيمات - حادثية» eveut - particles ومجموعة سلاسل هذه الحوادث هى حتى تؤلف تاريخ الجسم كله ، وينظر إلى الجسيم «على أنه» تاريخه ، لا على أنه كيان ميتافيزيقى تحدث له تلك الحوادث . وقد أصبح هذا الرأى ضرورياً نظراً لأن النسبية ترغمنا على أن نضع الزمان والمكان فى مستوى واحد لم يكونا عليه فى الفيزياء القديمة .

وينبغى أن يربط هذا المطلب المجرد بالحقائق المعروفة عن العالم الفيزيائى . والآن ، ما هى هذه الحقائق المعروفة ؟ فلنسلم بأن الضوء يتكون من موجات تتحرك بالسرعة المتلقاة ، ثم إننا نعرف قدراً كبيراً عما

www.ibtesama.com/vb

يجرى فى أجزاء متصل «الزمـان - مكان» ، حيث لا توجد مادة ، نحن نعرف مـثلاً أن هناك وقائع دورية (هى مـوجات الضوء) تخـضع لقوانين معينة . هذه الموجات الضوئية تبدأ من الذرات «وتمكننا النظرية الحديثة عن تركيب الذرة من معرفة قدر كبيـر عن الظروف التى تبدأ فيها ، والأسباب التى تحـدد أطوال موجـاتها ، ونحن نسـتطيع أن نعـرف لا كيف تنتـقل الموجات الضـوئية فحـسب ، بل كيف يتحـرك مصدرها بالنسـبة إلينا ، ولكننى حـينما أقـول ذلك افترض أننـا نستطيع أن نتـعرف على مـصدر الضوء بوصفه واحداً لـم يتغير فى وقتين مختلفين اختـلافاً طفيفاً ، وهذا هو - على كل حال - ما ينبغى بحثه .

رأينا فى الفصل السـابق كيف أن مجموعة من الحوادث المترابطة يمكن أن يتم تكوينها بحيث تكون كلها متعلقـة بعضها بالبعض الآخر ، وكلها مرتبطة حول مـركز فى متصل الزمان - مكان . ومثل هذه المجـموعة من الحوادث ستكون وصول موجات الضوء المنبعـثة من ومضة ضوء قصيرة . إلى أماكن متباينة . ولسنا بحاجة إلى افتراض أن شيئاً خاصاً يحدث عند المركز . ومـن المؤكد أننا لا نحـتاج إلى إفتـراض أننا نعلم «مـا» يحدث هناك - وإن ما نعرفه . . كمسألة من مسائل الهندسة - مجموعة الحوادث موضع الكلام - مرتبة حول مركـز كالدوائر التى تتسع فى بركة ماء حين تلمسـها ذبابـة ونستطيع أن نخـتلق افتراضـاً واقعة تكون قـد حدثت عند المركز ، ونشـرع فى وضع قوانين ، ننقل بمقتـضاها الاضطراب الناتج .

www.ibtesama.com/vb

وستبدو هذه الواقعة الافتراضية حينذاك بالنسبة للفطرة السليمة على أنها «سبب» الاضطراب ، وستعد أيضاً حادثة فى تاريخ حياة الجسيم المادى الذى نفترض أنه يحتل مركز هذا الاضطراب .

والآن لا نجد أن موجة الضوء تنتقل إلى الأمام من مركز ما طبقاً لقانون معين فحسب ، بل إنها تتبع أيضاً - وبوجه عام - بموجات ضوئية أخرى مماثلة لها أشد المماثلة . فالشمس - مثلا - لا تغير مظهرها فجأة ، بل إنه حين تعبرها سحابة أثناء ريح عاصفة ، يكون الانتقال تدريجياً ، وإن يكن سريعاً . وعلى هذا النحو تقوم علاقة بين مجموعة من الوقائع المرتبطة بمرز عند نقطة واحدة من متصل «الزمان - مكان» ، وبين مجموعات مماثلة جداً توجد مراكزها فى نقاط مجاورة من متصل «المكان - زمان» . ولكل من هذه المجموعات الأخرى تخترع الفطرة السليمة وقائع افتراضية جميعاً جزء من تاريخ واحد ، أى أنها تخترع جسيماً افتراضياً تحدث له تلك الوقائع الافتراضية . وبهذا الاستعمال المزدوج للافتراض الذى لا ضرورة له تماما فى كل حالة من تلك الحالات ، نصل - به وحده - إلى ما يمكن أن يسمى «مادة» بالمعنى القديم لهذه الكلمة .

وإذا أردنا أن نتحاشى الافتراضات التى لا ضرورة لها ، قلنا إن الذرة فى لحظة معينة «هى» الاضطرابات المتباينة فى الوسط المحيط التى يقال عنها - باللغة العادية - إنها «نتجت» عنها . بيد أننا لن نأخذ هذه

www.ibtesama.com/vb

الاضطرابات فى تلك اللحظة المعينة بالنسبة لنا . لأن ذلك سيجعلها تتوقف على المشاهد ، ولكننا سنتحرك بدلاً من ذلك متجهين خارج الذرة بسرعة الضوء ، على أن نأخذ كل اضطراب نجده فى كل مكان حالما نصل إليه ، ومجموعة الاضطرابات المتشابهة نشأ بها وثيقا والتى لها تقريبا نفس المركز ذلك المركز الذى نعثر عليه موجوداً قبل ذلك أو بعد ذلك بقليل ، سيعرف بأنه الذرة فى لحظة ، قبل أو بعد ذلك بقليل . وعلى هذا النحو نحافظ على قوانين الفيزياء جميعًا دون اللجوء إلى افتراضات لا ضرورة لها ، أو إلى كيانات مستنبطة ، ونظل فى انسجام مع مبدأ الاقتصاد العام الذى مكن نظرية النسبية من التخلص من كثير من الشوائب التى لا غناء فيها .

وتتخيل الفطرة السليمة أنها حين ترى منضدة ، فإنها ترى منضدة وهذا وهم غليظ . ذلك أنه حين ترى الفطرة السليمة منضدة ، فإن موجات ضوئية معينة تصل إلى العينين ، وهاتان مجعولتان على نحو يرتبط فى خبرتهما السابقة بإحساسات معينة من اللمس ، وكذلك بشهادة أناس آخرين بأنهم قد رأوا المنضدة بدورهم ، بيد أن شيئاً من هذا لا يحملنا إلى المنضدة نفسها على الإطلاق ، فالموجات الضوئية قد سببت أحداثاً فى عيوننا . وهذه سببت أحداثا فى عصبنا البصرى ، وهذا سبب بدوره أحداثا فى المخ . وأى واحد من هذه الأشياء يحدث بدون التمهيدات المعتادة ، يجعلنا نشعر بالإحساسات التى نسميها «رؤية

www.ibtesama.com/vb

المنضدة» . حتى لو لم تكن هناك منضدة . (وبالطبع لو أن المادة فسرت عموماً بأنها مجموعة من الأحداث ينبغى أن يطبق هذا أيضاً على العين ، وعلى العصب البصرى وعلى المخ) . أما فيما يتعلق بإحساس اللمس حين نضغط على المنضدة بأصابعنا ، فإن هذا عبارة عن اضطراب كهربائى يحدث لإلكترونات ولبروتونات أطراف أصابعنا . وينتج طبقًا للفيزياء الحديثة عن تجاور الإلكترونات ولبروتونات فى المنضدة . ولو أثير هذا الاضطراب نفسه فى أطراف أصابعنا بأية طريقة أخرى ، فسوف نشعر بتلك الإحساسات على الرغم من عدم وجود أية منضدة ، ومن الواضح أن شهادة الآخرين مسألة ثانوية . ولو سئل شاهد فى محكمة عما إذا كان قد شاهد واقعة معينة ، فلن يسمح له بأن يجيب بأنه يعتقد ذلك ، لأن شهادة الآخرين تؤكد وقوع هذه الحادثة ، وعلى أية حال . فإن الشهادة تتألف من موجات صوتية وتتطلب تفسيرًا نفسياً تطلبه للتفسير الفيزيائى سواء بسواء ومن ثم فإن ارتباطها بالموضوع غير مباشر إلى حد بعيد . ولهذه الأسباب جميعاً حين نقول أن رجلا «يرى منضدة» فإننا نستخدم تعبيراً مختصراً اختصاراً شديداً ، يخفى وراءه استدلالات معقدة صعبة ، يمكن أن تكون صحتها موضع سؤال .

بيد أننا معرضون لخطر التورط فى المسائل النفسية ، وهى مسائل ينبغى أن نتجنبها كلما استطعنا إلى ذلك سبيلا . فلنعد إذن إلى وجهة النظر الفيزيائية البحتة .

www.ibtesama.com/vb

وما أريد أن أقترحه يمكن أن يوضع على النحو التالى ، إن كل ما يحدث فى مكان آخر ، نتيجة لوجود ذرة ، يمكن كشفه تجريبياً ، أو على الأقل نظرياً . اللهم إلا إذا كان يحدث بطرق خفية معينة . غير أن ما يحدث داخل الذرة (إذا كان ثمة ما يحدث هناك) فإن من المحال معرفته على الإطلاق. فليس من الممكن تصور جهاز يمكن أن نحصل به ولو على لمحة من ذلك ، والذرة تعرف «بتأثيراتها» بيد أن كلمة «تأثيرات» تنتمى إلى رأى فى السببية لا تلاؤم مع الفيزياء الحديثة ، وعلى الأخص لا يتلاءم مع نظرية النسبية ، وكل مالنا الحق فى أن نقوله هو أن مجموعات معينة من الأحداث تحدث معاً ، أى فى أجزاء متجاوزة من متصل «المكان - زمان» وقد ينظر مشاهد معين إلى عضو من المجموعة قبل عضو آخر . غير أن مشاهداً آخر قد يحكم على النظام الزمنى حكما مختلفاً . وحتى حين يكون النظام الزمنى واحداً بالنسبة للمشاهدين جميعاً ، فإن كل ما لدينا حقاً عبارة عن رابطة بين حادثتين يمكن أن تصدق ، أماماً ، وخلفاً على السواء . وليس من الحق أن الماضى يحدد المستقبل بمعنى آخر غير المعنى الذى يحدد به المستقبل الماضى ، والاختلاف الظاهر لا يرجع إلا إلى جهلنا وحده ، لأننا نعرف عن المستقبل أقل مما نعرفه عن الماضى. وهذا شىء عرضى بحت . إنما وجدت كائنات تتذكر المستقبل لتستنبط منه الماضى . ومشاعر مثل هذه الكائنات فى تلك الأمور ، تكون حينئذ على النقيض من مشاعرنا تماماً . ولكنها لن تكون زائفة لهذا السبب .

www.ibtesama.com/vb

ومن الواضح وضوحاً معقولاً أن جميع حقائق الفيزياء وقوانينها يمكن أن تفسر دون افتراض أن المادة شيء آخر سوى مجموعات من الأحداث ، بحيث تكون كل حادثة على نحو ينبغى أن ننظر إليه طبيعياً بوصفه «ناتجاً» عن المادة موضوع الكلام ، وهذا لا يقتضى أى تغير فى رموز أو صيغ الفيزياء ، فالمسألة مجرد تفسير الرموز .

وهذا التوسع فى التفسير سمة مميزة للفيزياء الرياضية . فما نعرفه عبارة عن علاقات منطقية معينة مجردة تجريداً شديداً ، علاقات نعبر عنها فى معادلات رياضية ونعرف أيضاً أننا نصل - عند نقاط معينة - إلى نتائج يمكن اختبارها تجريبياً ، خذ مثلا مشاهدات الكسوف التى تأسست عليها نظرية أينشتين عن انحناء الضوء . وكانت المشاهدة الفعلية تتألف من القياس الدقيق لأبعاد معينة على شرائح فوتوغرافية معينة . وكانت المعادلات المطلوب التحقق من صدقها تتعلق بمسار الضوء فى عبوره على مقربة من الشمس ، ومع أنه ينبغى تفسير الجزء الخاص من هذه المعادلات - وهو الجزء الذى يعطى النتيجة الملحوظة - دائماً بنفس الطريقة فقد يكون الجزء الآخر منها قابلا لمجموعة متنوعة كبيرة من التفسيرات والمعادلات التى تعطى حركات الكواكب السيارة تكاد تكون هى نفسها فى نظرية أينشتين ونظرية نيوتن على السواء . بيد أن معنى المعادلات مختلف تمام الاختلاف . ويمكن أن يقال - على وجه العموم - إننا نستطيع فى المعالجة الرياضية للطبيعة أن نكون أشد يقيناً من أن

www.ibtesama.com/vb

معادلاتنا صحيحة تقريباً من يقيننا من صحة هذا التفسير أو ذاك لها . وكذلك بالنسبة للحالة التى يتعرض لها هذا الفصل ، ذلك أن السؤال الذى يتعلق بطبيعة الإلكترون أو البروتون لا يجاب عليه إطلاقًا حين نعرف كل ما تستطيع الفيزياء الرياضية أن تقوله عن قوانين حركاته ، وقوانين تفاعله مع بيئته . والإجابة المحددة الحاسمة على سؤالنا ليست ممكنة لأن مجموعة متنوعة من الأجوبة يمكن أن تتفق مع حقيقة الفيزياء الرياضية . ومع ذلك فإن بعض الأجوبة مفضل على البعض الآخر ، وذلك لأن بعضها يؤيده احتمال أعظم وقد كنا نسعى فى هذا الفصل إلى تعريف المادة بحيث ينبغى أن يكون هناك ما يسمى بهذا الاسم ، لو أن معدلات الفيزياء صادقة . فإذا كنا قد وضعنا تعريفنا بحيث أن جسيماً من المادة ينبغى أن يكون ما يعتقد المرء أنه كتلة جوهرية صلبة محددة ، فإنه ما كان ينبغى أن نكون «موقنين» من أن مثل هذا الشىء موجود . ولهذا السبب كان تعريفنا - على الرغم مما قد يبدو عليه من التعقيد - مفضلا من وجهة نظر الاقتصاد المنطقى والحذر العلمى .

www.ibtesama.com/vb

الفصل الخامس عشر

النتائج الفلسفية

ليست النتائج الفلسـفية لنظرية النسبيـة عظيمة أو مذهلة كما يعـتقد أحياناً فهي تلقى ضوءاً ضئيـلاً جداً على المنازعات الموقرة كتلك المنازعات القائمة بين الواقعية والمثالية . ويعتقد بعض الناس أنها تؤيد رأى «كانط» القـائل بأن المكان والزمـان «ذاتيـان» aublective وأنهـمـا شكلان من «أشكال العيان» forms of intuition وأعتقـد أن مثل هؤلاء الناس قد أضلتهم الطريقة التى يتحدث بها كتاب النسبية عن «المشاهد» فمن الطبيعى افتـراض أن المشاهد كـائن إنسانى ، أو علـى الأقل افتراض أنـه عقل ، ولكنه من الممكن أن يكون لوحـة فوتوغرافـية أو ساعـة . وهذا معناه إن النتائج الغريبـة المتعلقة بالاختلاف بين وجهة نـظر ووجهة نظر أخرى ، تتم بوجهـة النظر بالمعنى المستخـدم للأدوات الفيزيائية كـما هو مستـخدم بالنسـبة للناس ذوى الإدراكـات الحسـية . «فـالذاتية» المذكـورة فى نظرية النسبية هى ذاتية «فيـزيائية» من الممكن أن توجد إن لم تكن ثمة عقول أو حواس فى العالم .

وفضـلا عن ذلك فإنها ذاتيـة محدودة جـداً ، والنظرية لا تقول إن «كل شىء» نسـبى ، ولكنهـا على العكس تعطى طريقـة فنيـة (تكنيك) للتفرقة بين ما هو نسبى وبين ما ينتسب لحـادثة فيزيائية صميمة . فإذا كنا

www.ibtesama.com/vb

سنقول إن النظرية تؤيد «كانط» فى رأيه عن المكان والزمان ، فعلينا أن نقول إنها تدحضه فيما يتعلق بمتصل «المكان - زمان» . ولا أرى سبباً يدعو الفلاسفة ألا يتمسكوا - فى مثل هذه القضايا - بالآراء التى سبق أن اعتنقوها . فلم تكن ثمة حجج حاسمة تؤيد أحد الجانبين من قبل ، ولا توجد مثل هذه الحجج الآن ، والتمسك برأى منهما يدل على مزاج قطعى أكثر مما يدل على مزاج علمى .

ومع ذلك ، فإنه حينما تصبح الأفكار المنبعثة فى مؤلفات أينشتين مألوفة ، كما ستصبح حين تلقن فى المدارس ، فإن تغييرات معينة فى عاداتنا الفكرية سوف تنتج عن ذلك ، وسيكون لها أهمية عظمى على المدى الطويل .

وهناك شىء ستسفر عنه هذه التغييرات وهو أن الفيزياء تخبرنا عن العالم الفيزيائى أقل كثيراً مما كنا نعتقد . وسينتهى الأمر «بالمبادىء العظمى» جميعاً فى الفيزياء التقليدية إلى أن تكون أشبه «بالقانون الأعظم» القائل بأن هناك دائماً ثلاثة أقدام فى الياردة ، وسيظهر أن بعض القوانين الأخرى باطلة تماماً . ويمكن أن يفيدنا قانون بقاء الكتلة فى تصوير هاتين المسألتين التعيستين اللتين يمكن أن ينتهى إليهما «قانون» ما. وقد اعتدنا على تعريف الكتلة بأنها «كمية المادة» وهذه الكمية لا تزيد ولا تنقص أبداً كما تثبت التجربة ذلك . بيد أن ازدياد الدقة فى القياسات الحديثة أسفر عن حدوث أمور عجيبة . فقد وجد فى المقام الأول أن

www.ibtesama.com/vb

الكتلة - وفقاً للقياس - تزداد مع ازدياد السرعة ، ووجد أن هذا النوع من الكتلة هو الطاقة نفسها حقاً . وهذا النوع من الكتلة ليس ثابتاً بالنسبة لجسم معين . وأياً كان الأمر ، فقد كان ينبغى النظر إلى القانون على أنه تحصيل حاصل ، ومن طبيعة القانون القائل إن هناك ثلاثة أقدام فى الياردة ، وهذا ناتج عن طرائقنا فى القياس Measurement ولا يعبر عن خاصية حقيقة من خواص المادة . والنوع الآخر من الكتلة الذى يمكن أن نسميه «الكتلة الحقيقية»، هو الكتلة التى يجدها مشاهد يتحرك مع الجسم . وهذه هى الحالة الأرضية الغادية حيث لا يكون الجسم الذى تزنه طائراً فى الهواء . وتكاد تكون «الكتلة الحقيقية» لجسم ما ثابتة ، ولكنها ليست ثابتة تماماً . ومن الممكن افتراض أنه لو كان لديك أربعة أوزان يزن كل منها رطلا ، ووضعتها معاً كلها فى الميزان ، فإنها ستزن كلها أربعة أرطال . وهذا محض خيال ، ذلك أنها تزن أقل ، وإن لم يكن أقل بمقدار يمكن اكتشافه بأدق القياسات . أما فى حالة أربع ذرات من الأيدروجين حين توضع معاً لتكوين ذرة هليوم واحدة ، فإن هذا النقص يكون ملحوظا ، إذ أن ذرة الهليوم تزن أقل - بصورة يمكن قياسها من أربع ذرات منفصلة من الأيدروجين .

وبالإجمال ، لقد تحطمت الفيزياء التقليدية إلى جزأين : تحصيل الحاصل ، والجغرافيا .

وليس العالم الذى تقدمه نظرية النسبية لخيالنا عالم «أشياء فى

www.ibtesama.com/vb

حركة ، بقدر ما هو عالم «حوادث» . ومن الحق أنه مازل هناك جسيمات يبدو أنها تبقى ، بيد أن هذه الجسيمات (كما رأينا فى الفصل السابق) يمكن تصورها حقاً بوصفها خيوطاً من الحوادث المترابطة . وكأنها نغمات متعاقبة فى أغنية . «الحوادث» هى النسيج الذى تتألف منه فيزياء النسبية . وبين كل حادثتين لا تبعد إحدهما عن الأخرى بعداً شديداً توجد علاقة قابلة للقياس - سواء فى النظرية العامة أو الخاصة - وتسمى «الفاصل» ويبدو أن هذا الفاصل هو الحقيقة للفيزيائية التى تعد البرهة من الزمان والمسافة فى المكان ممثلين غامضين لها ، كل هذا الغموض أو أكثر . ولا يوجد بين حادثتين متباعدتين أى فاصل واحد محدد ، وإنما هناك طريقة واحدة للتحرك من حادثة إلى الأخرى - وهى الطريقة التى تجعل مجموع الفواصل الصغيرة جميعاً على طول الطريق أكبر مما لو سلكنا أى طريق آخر . وهذا الطريق يسمى خط جيوديسى وهو الطريق الذى يختاره الجسم إذا ترك لنفسه .

وفيزياء النسبية كلها يمكن أن تعد مسألة تقوم على التقدم «خطوة خطوة» أكثر ما كانت عليه الفيزياء أو الهندسة فى سالف الأيام إذ ينبغى أن تحل محل خطوط إقليدس المستقيمة أشعة الضوء ، التى لا تصل إلى معيار إقليدس فى الاستقامة حين تعبر بالقرب من الشمس أو من أى جسم ثقيل آخر وما زال من المعتقد أن مجموع زوايا المثلث قائمتان فى المناطق الصغيرة جداً من المكان الفارغ ، لا فى أية منطقة ممتدة . وما من

www.ibtesama.com/vb

مكان نستطيع أن نجد فيه إقليدس صادقاً تمام الصدق . والقضايا التى اعتدنا على البرهنة عليها بالقياس قد أصبحت الآن إما مواصفات وأما مجرد حقائق تقريبية نتحقق من صدقها بالمشاهدة .

ومن الحقائق الغريبة - التى ليست نظرية النسبية مثلها الوحيد - أنه كلما تقدم التفكير ، فإن دعواه فى القدرة على إثبات الحقائق تضعف ، وتضعف . وكان من المعتقد عادة أن المنطق يعلمنا كيف نجرى الاستنتاجات ولكنه يعلمنا الآن ، كيف لا نجرى الاستنتاجات . والحيوانات والأطفال يميلون ميلا رهيباً إلى الاستنتاج : فالحصان يدهش دهشة لاحد لها إذا استدرت به استدارة غير مألوفة . وحين بدأ الناس فى التفكير ، حاولوا تبرير الاستنتاجات التى استخرجوها دون تفكير فى عصورهم المبكرة . وقد نتج قدر كبير من الفلسفة الرديئة والعلم الردىء عن هذا النزوع . والمبادىء العظمى «مثل تجانس الطبيعة» وقانون «السببية الكلية» law of universal eauation وما إلى ذلك ، ما هى إلا محاولات لتدعيم اعتقادنا فى أن ما حدث كثيراً من قبل سيحدث مرة أخرى ، وهذا الاعتقاد ليس أمتن فى الأساس الذى يقوم عليه من اعتقاد الحصان فى أنك سوف تدور الدورة التى نأخذها عادة . وليس من اليسير أن نرى ما يحل محل هذه المبادىء الزائفة فى تطبيق العلم ، ولكن ربما أعطتنا نظرية النسبية لمحة عن نوع الشىء الذى يمكن أن نتوقعه . ولم يعد للسببية - بمعناها القديم - مكان فى الفيزياء النظرية . وهناك

www.ibtesama.com/vb

بالطبع . شيء آخر يحل محلها ، ولكن يبدو أن هذا البديل يقوم على أساس تجريبى أفضل من الأساس الذى كان يقوم عليه المبدأ القديم .

وينبغى أن يؤثر انهيار فكرة الزمان الواحد الشامل لكى شيء ، الذى يمكن أن تؤرخ به جميع حوادث الكون - ينبغى أن يؤثر فى المدى الطويل على آرائنا فى العلة والنتيجة وفى التطور ، وفى مسائل أخرى كثيرة . وربما توقف هذا السؤال - مثلا - عما إذا كان ثمة تقدم فى الكون بوجه عام - ربما توقف على اختيارنا لمقياس الزمان . فإذا اخترنا ساعة من بين عدد من الساعات تتساوى فى دقتها ، فربما وجدنا الكون يتقدم بالسرعة التى يعتقد أشد الأمريكيين تفاؤلا أن الكون يتقدم بها ، وإذا أخترنا ساعة أخرى لا تقل عن ذلك دقة ، فربما وجدنا أن الكون يصير من سيء إلى أسوأ بالسرعة التى يتخيلها أشد السلافيين سوداوية . وهكذا نجد أن التفاؤل والتشاؤم لا يتصفان بالصدق أو بالكذب وإنما يتوقفان على اختيار الساعات .

ويؤثر ذلك على نمط معين من العواطف تأثيراً مدمراً . والشاعر يتحدث عن :

«حادث إلهى واحد بعيد

تتحرك صوبه الخليقة بأسرها » .

ولكن إذا كانت الحادثة بعيدة بعداً كافيا ، والخليقة تتحرك بسرعة

www.ibtesama.com/vb

كافية فإن بعض الأجزاء سوف تحكم بأن هذه الحادثة قد وقعت فعلا ، بينما ستحكم بعض الأجزاء الأخرى بأنها مازالت فى طى المستقبل . وهذا يفسد ذلك البيت من الشعر ، وكان ينبغى أن يكون الشطر الثانى هكذا :

«تتحرك صوبه بعض أجزاء الخليقة ، بينما تتحرك أجزاء أخرى متجاوزة إياه . .» .

بيد أن هذا لا يغنى شيئا . وأعتقد أن العاطفة التى يمكن أن يحطمها قليل من الرياضة ليست عاطفة حقيقية ، أو ذات قيمة . غير أن هذا الضرب من الجدال قد يؤدى إلى نقدا العصر الفيكتورى ، وهذا موضوع يخرج عن نطاق بحثى .

وأكرر ، أن ما نعرفه عن العالم الفيزيائى أشد تجريداً بكثير مما كان يفترض من قبل فهناك بين الأجسام تقع حوادث ، كالموجات الضوئية . وعن «قوانين» هذه الحوادث نعرف شيئا ما بالقدر الذى يمكن أن نعبر عنه فى معادلات رياضية . أما عن «طبيعة هذه الحوادث فلا نعرف شيئا . وعن الأجسام نفسها ، نعرف القليل - كما رأينا فى الفصل السابق - بحيث لا نستطيع التأكد من أنها شيء ما فربما كانت مجرد مجموعات من الحوادث فى أماكن أخرى ، تلك الحوادث التى ينبغى أن نعدها آثارها على نحو طبيعى ، ونحن نفسر العالم بالطبع تفسيراً تصويرياً Pictori-ally ، أعنى أننا نتخيل ما يجرى في الكون شبيها بما نراه ، غير أن هذا

www.ibtesama.com/vb

التشابه لا يمكن أن يمتد فى الواقع إلا إلى بعض الصفات المنطقية الصورية التى تعبر عن البناء ، بحيث إن كل ما نستطيع أن نعرفه هو بعض السمات العامة المعينة لتغيراته ، ولعلنا لو ضربنا مثلاً لأمكن توضيح هذه المسألة . هناك بين مقطوعة الموسيقى الأوركسترالية كما تعزف ، وبين هذه المقطوعة نفسها من الموسيقى كما تطبع فى المدونة الموسيقية تشابهاً معيناً ، يمكن أن يوصف بأنه تشابه فى البناء ، وهذا التشابه قائم على نحو يمكنك معه - إذا كنت تعرف القواعد - أن تستنتج الموسيقى من المدونة ، أو المدونة من الموسيقى . ولكن فلنفترض أنك أصم منذ ولادتك ، ولكنك تعيش بين أهل الموسيقى : حينئذ تستطيع أن تفهم إذا كنت قد تعلمت الكلام أو قراءة حركة الشفاء أن المدونات الموسيقية تمثل شيئاً مختلفاً عن نفسها من حيث الكيفية intrinsic الأصلية (أو الذاتية) ، وإن تكن مماثلة فى البناء[1] . وستكون قيمة الموسيقى متعذرة تماما على تخيلك، ولكنك تستطيع أن تستنبط سماتها الرياضية جميعاً ، مادامت هى نفس السمات الموجودة فى المدونة . معرفتنا بالطبيعة شىء مشابه لذلك ، فنحن نستطيع أن نقرأ المدونات ، وأن نستنبط كل ما يستطيع الشخص الأصم أن يستنبطه عن الموسيقى ، ولكننا لا نملك المزايا التى استمدها من اختلاطه بأهل الموسيقى . ونحن لا نستطيع أن نعرف ما إذا كانت الموسيقى التى تمثلها المدونات جميلة أو بشعة ، وربما ، لم نكن

(١) تعريف كلمة «بناء Structure » راجع كتاب المؤلف «مقدمة الفلسفة الرياضية» .

www.ibtesama.com/vb

نستطيع التأكد تماما - فى نهاية التحليل - من أن المدونات تمثل أى شىء سوى نفسها . غير أن هذا شك لا يستطيع الرجل الفيزيائى - بقدرته المهنية - أن يسمح لنفسه بالتفكير .

فإذا سلمنا بأقصى ما نستطيع أن تدعيه الفيزياء لنفسها ، فإنها لا تخبرنا بذلك الذى يتغير ، أو ما هى حالاته المتباينة ، إنها لا تنبئنا بشىء آخر سوى أن التغيرات يتبع بعضها البعض الآخر دوريا ، أو أنها تنتشر بسرعة معينة ، وحتى الآن لم نبلغ بعد نهاية العملية الخاصة بانتزاع ما هو محض خيال ، لكى نصل إلى لباب المعرفة الفعلية الحقيقية « ولقد أنجزت نظرية النسبية قدراً كبيراً جداً فى هذا المجال ، وهى بهذا العمل قد قربتنا أكثر فأكثر إلى البناء البحت الذى هو هدف الرياضى - لا لأنه الشىء الوحيد الذى يهتم به بوصفه إنسانا ، ولكن لأنه الشىء الوحيد الذى يستطيع التعبير عنه فى معادلات رياضية . ولكن على قدر ما أوغلنا فى اتجاه التجديد ، فقد يكون علينا أن نتوغل إلى أبعد من ذلك .

ولقد اقترحت - فى الفصل السابق - ما يمكن أن يسمى التعريف الأدنى للمادة ، أعنى التعريف الذى تكون للمادة نية - أن صح هذا التعبير - أقل قدر من «الجوهر ، بما يتفق مع حقيقة الفيزياء ، وفى اعتقادنا لتعريف من هذا النوع ، نؤثر جانب السلامة : ذلك أن مادتنا الهزيلة سوف توجد ، حتى ولو كان هناك شىء أقوى من ذلك موجوداً

www.ibtesama.com/vb

أيضاً . لقد حاولنا أن نجعل تعريفنا للمادة أشبه بثريد إيزابللا كما وصفته «جين أوستن» ، «رقيقا ، ولكنه ليس رقيقا جداً » . ومع ذلك ، نقع فى الخطأ إذا أكدنا تأكيداً قاطعاً أن المادة ليست أكثر من ذلك . وكان ليبنتس يعتقد أن قطعة من المادة هى حقاً مستعمرة من الأرواح . وليس ثمة ما يثبت أنه كان على خطأ ، وإن لم يكن ثمة أيضاً ما يثبت أنه كان على حق : فنحن لا نعرف عنها فى هذا الاتجاه أو ذاك أكثر مما نعرف عن نبات المريخ وحيوانه .

وقد يبدو الطابع المجرد الذى تتسم به معرفتنا الفيزيائية غير مرض بالنسبة للعقل غير الرياضى . وربما كان ذلك أمراً مؤسفا من وجهة النظر الفنية أو الخيالية ولكنه شىء لا قيمة له من وجهة النظر العملية والتجريد - على ما فيه من صعوبة - هو مصدر القوة العملية . ورجل المال الذى تكون معاملاته مع العالم أشد تجريداً من أى رجل «عملى آخر» هو أيضاً أقوى من أى رجل عملى آخر . وهو يستطيع أن يتاجر فى القمح أو القطن دون حاجة إلى رؤية أى منهما : وكل ما يحتاج إلى معرفته هو هل تصعد أسعارهما أم تهبط . هذه هى المعرفة الرياضية المجردة ، إذا قورنت على الأقل بمعرفة رجل الزراعة . وشبيه بهذا رجل الفيزياء الذى لا يعرف عن المادة شيئاً اللهم إلا بعض القوانين المعينة عن حركاتها ، ومع ذلك فإنه يعرف ما يكفى ليجعله قادراً على تناولها علمياً . فهو يصل - بعد أن يعمل خلال سلاسل طويلة من المعادلات تمثل فيها الرموز

www.ibtesama.com/vb

أشياء لن نعرف أبداً طبيعتها الحقيقية - يصل أخيراً إلى نتيجة يمكن أن تفسر في حدود إدراكاتنا الحسية وأن ينتفع بها لإحداث آثار مرغوبة في حياتنا . وما نعرفه عن المادة - على ما فيه من طابع تخطيطي مجرد - يكفي من حديث المبدأ لينبئنا بالقواعد التي يحدث طبقاً لها الإدراكات الحسية والمشاعر في نفوسنا ، وعلى هذه القواعد تتوقف الاستعمالات «العلمية» للفيزياء .

والخاتمة النهائية هي أننا نعرف القليل جداً ، ومع ذلك فمن الغريب أن هذا القليل جداً كثير ، وأغرب من ذلك أن هذه المعرفة القليلة جداً يمكن أن تعطينا كل هذه القوة .

www.ibtesama.com/vb

FARES_MASRY
www.ibtesama.com/vb
منتديات مجلة الإبتسامة

www.ibtesama.com/vb

الفهرس

الموضوع		الصفحة

تصدير	....	٧
الفصل الأول	: اللمس والنظر ، الأرض والسماء	٩
الفصل الثانى	: ما يحدث وما يشاهد	٢١
الفصل الثالث	: سرعة الضوء	٣٥
الفصل الرابع	: الساعات والمساطر	٤٩
الفصل الخامس	: المكان - زمان	٦٣
الفصل السادس	: نظرية النسبية الخاصة	٧٥
الفصل السابع	: الفواصل فى متصل (المكان - زمان)	٩٣
الفصل الثامن	: قانون أينشتين	١١١
الفصل التاسع	: براهين على قانون أينشتين للجاذبية	١٢٩
الفصل العاشر	: الكتلة وكمية التحرك والطاقة والفعل ...	١٤١
الفصل الحادى عشر	: الكون المتمدد	١٥٩
الفصل الثانى عشر	: مواضعات وقوانين الطبيعة	١٧٥
الفصل الثالث عشر	: إلغاء (القوة)	١٨٩
الفصل الرابع عشر	: ما المادة ؟	٢٠١
الفصل الخامس عشر	: النتائج الفلسفية	٢١١

www.ibtesama.com/vb

رقم الإيداع ١٦٠٣٣ / ٢٠٠٢

I.S.B.N 977-01-8169- 2

مطابع
الهيئة المصرية العامة للكتاب

www.ibtesama.com/vb

FARES_MASRY
www.ibtesama.com/vb
منتديات مجلة الإبتسامة

www.ibtesama.com/vb

www.ibtesama.com/vb
FARES_MASRY

لقد أدركنا منذ البداية
أن تكوين ثقافة المجتمع
تبدأ بتأصيل عادة
القراءة، وحب المعرفة، وأن
المعرفة وسيلتها الأساسية
هى الكتاب، وأن الحق في
القراءة يماثل تماماً الحق
فى التعليم والحق فى
الصحة.. بل الحق فى
الحياة نفسها.

سوزان مبارك

مجلة الابتسامة

www.ibtesama.com/vb

www.ibtesama.com/vb